

TUGAS AKHIR

STUDI ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODISTRIBUSI PLN RANTING LUBUK PAKAM

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

MUHAMMAD YUSUF

NPM : 1207220095



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan itu adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut adalah munculnya 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. Secara teori, dapat disimpulkan bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga semakin besar, akibatnya losses yang terjadi akan semakin besar. Ketidakseimbangan beban terjadi pada trafo distribusi yang berlokasi di jln. Pendidikan. Dimana pada siang hari semakin besar ketidakseimbangan bebannya 16% dan malam 15%. Dan ketidakseimbangan beban terendah terjadi di trafo yang berlokasi di jln. Batang kuis DP pabrik sahabat, dimana pada siang hari 8,33% dan pada malam hari 0,66%.

Kata Kunci: Beban, arus netral, losses, trafo distribusi.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah "***Studi Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi PLN Ranting Lubuk Pakam***".

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, ST, MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Zulfikar, ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Penguji II dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak M. Syafril,S.T.,M.T. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Ir. Yusniati, M.T Selaku Dosen Penguji I dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya TEKEL A-1 Pagi 2012 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, 12-April 2017

Penulis

MUHAMMAD YUSUF

1207220095

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penulisan.....	3
1.6. Metodologi Penulisan	3
1.7. Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2. Landasan Teori.....	9
2.2.1. Jaringan Distribusi	9
2.2.1.1. Distribusi Primer	9
2.2.1.2. Distribusi Sekunder	17
2.3. Transformator	18

2.3.1. Prinsip Kerja Transformator	18
2.3.2. Jenis Transformator	20
2.3.3. Hubungan Lilitan Transformator	21
2.3.4. Kelompok Hubungan	24
2.3.5. Rugi-rugi dan Efisiensi Transformator	26
2.3.6. Efisiensi (η).....	28
2.4. Transformator Distribusi.....	29
2.4.1. Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat	29
2.4.2. Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator	31
2.5. Ketidakseimbangan Beban.....	32
2.5.1. Pengertian Tentang Beban Tidak Seimbang.....	32
2.5.2. Penyaluran & Susut Daya Pada Keadaan Arus Seimbang	33
2.5.3. Penyaluran & Susut Daya Pada Keadaan Arus Tak Seimbang ...	35
2.6. Faktor Daya.....	37
2.7. Listrik Arus Bolak Balik 3 Fasa.....	38
2.7.1. Pengertian	38
2.7.2. Listrik Arus Bolak Balik 3 Fasa	38
2.8. Tegangan Dan Arus	38
2.8.1. Hubungan Bintang	38
2.8.2. Hubungan Delta	39
2.8.3. Daya Listrik 3 Fasa Hubung Bintang	40
2.8.4. Daya Listrik 3 Fasa Hubung Segitiga	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	43
3.2. Peralatan Penelitian.....	43
3.3. Data Penelitian	44
3.3.1. Data Teknis Trafo Distribusi	44
3.3.2. Data Pembebanan Trafo Distribusi.....	45
3.4. Flowchart (Alur Diagram)	49

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Pembebanan Trafo Distribusi	51
4.1.1. Menentukan Persentase Pembebanan Trafo	52
4.2. Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi	57
4.3. Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah	62

BAB V PENUTUP

4.1. Kesimpulan	75
4.2. Saran	76

DAFTAR PUSTAKA	77
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR**Gambar****Halaman**

Gambar 2.1	Skema Sistem Tenaga Listrik	10
Gambar 2.2	Skema Saluran System Radial	11
Gambar 2.3	Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah.....	12
Gambar 2.4	Skema Rangkaian Loop Terbuka	13
Gambar 2.5	Skema Rangkaian Loop Tertutup.....	14
Gambar 2.6	Skema Sistem Jaringan Primer	15
Gambar 2.7	Skema Prinsip Sistem Spindel	16
Gambar 2.8	Jenis Transformator Menurut Konstruksinya.....	18
Gambar 2.9	Hubungan Bintang	21
Gambar 2.10	Hubungan Delta	23

Gambar 2.11 Hubungan Zig-zag.....
24

Gambar 2.12 Kelompok Hubungan Dy11
26

Gambar 2.14 Diagram Rugi-Rugi Transformator.....
28

Gambar 2.15 Beberapa Macam Trafo Distribusi Tipe Kutub.....
31

Gambar 2.16 Vektor Diagram.....
33

Gambar 2.17 Diagram Fasor Tegangan Saluran Daya Model Fasa Tunggal
34

Gambar 2.18 Segitiga Daya
37

Gambar 2.19 Diagram Hubung Bintang
39

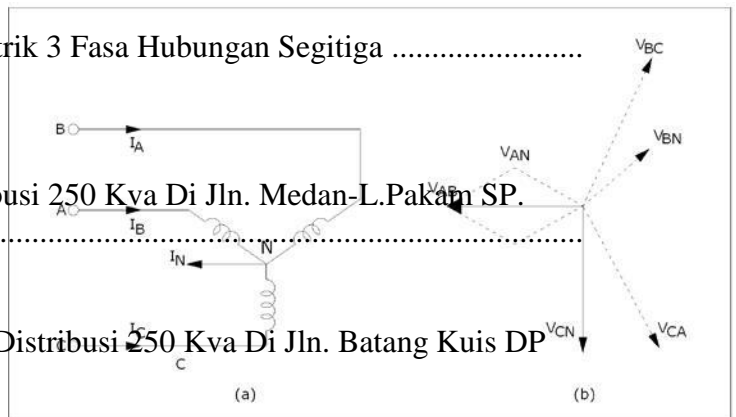
Gambar 2.20 Diagram Hubung Delta
39

Gambar 2.21 Diagram Daya Listrik 3 Fasa Hubung Bintang.....
40

Gambar 2.22 Diagram Daya Listrik 3 Fasa Hubungan Segitiga
41

Gambar 3.1 Single Line Distribusi 250 Kva Di Jln. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ
45

Gambar 3.2 Single Line Trafo Distribusi 250 Kva Di Jln. Batang Kuis DP
45



	Pabrik Sahabat	46
Gambar 3.3	Single Line Trafo Distribusi 100 Kva Di Jln. Pendidikan	47
Gambar 3.4	Single Line Trafo Distribusi 200 Kva Di Jln. Bakaran Batu	48
Gambar 3.5	Flowchart Penelitian.....	49
Gambar 3.6	Flowchart Penyusunan Tugas Akhir	50

DAFTAR TABEL

Tabel

Halaman

Tabel 2.1	Kelompok Hubungan Menurut VDE 0532	26
Tabel 3.1	Data Spesifikasi Transformator.....	44
Tabel 3.2	Hasil Pengukuran Arus Pada Siang Hari Dan Malam Hari	45
Tabel 3.3	Hasil Pengukuran Arus Pada Siang Hari Dan Malam Hari	46
Tabel 3.4	Hasil Pengukuran Arus Pada Siang Hari Dan Malam Hari	47
Tabel 3.5	Hasil Pengukuran Arus Pada Siang Hari Dan Malam Hari	48
Tabel 4.1	Persentase Pembebanan Trafo Distribusi	56
Tabel 4.2	Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi	62
Tabel 4.3	Losses Pada Trafo Distribusi	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan listrik di suatu negara adalah dua kali pertumbuhan ekonominya. Dengan adanya pertumbuhan ekonomi, maka daya beli masyarakat juga meningkat. Pertumbuhan ekonomi ditandai dengan pembangunan di segala bidang. Salah satunya adalah pembangunan di sektor industri. Hal ini merupakan langkah penting yang harus ditempuh dalam menghadapi era globalisasi dan perdagangan bebas yang telah kita hadapi.

Dalam era globalisasi ini, bangsa Indonesia dituntut untuk dapat bersaing dengan bangsa lain, termasuk bersaing dalam bidang industri yang pada akhirnya akan berdampak pada peningkatan devisa negara. Peningkatan di sektor industri ini menuntut adanya kesiapan sumber daya yang memadai, baik dari teknologi

ataupun sumber daya alam, sehingga pembangunan dapat berjalan dengan baik tanpa mengalami hambatan yang berarti.

Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan, maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukung tercapainya tujuan pembangunan tersebut. Salah satu sarannya adalah dengan adanya penyediaan tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kebutuhan 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 kontinu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik di sektor industri.

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut PLN agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Namun dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut terjadi pembagian beban-beban yang tidak merata sehingga menimbulkan suatu ketidakseimbangan beban yang dampaknya dapat merugikan PLN. Agar terjadi penyuplaian tenaga listrik secara seimbang meskipun hal tersebut tidak mudah dilakukan, tetapi demi kestabilan dan kontinuitas penyuplaian tenaga listrik ke konsumen maka hal tersebut harus dapat diatasi.

Berdasarkan uraian diatas maka judul penelitian ini akan membahas tentang studi analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi, dengan tujuan agar dapat di manfaatkan petugas PLN ranting Lubuk Pakam dalam meningkatkan kaulitas sistem kelistrikan di Sumatera Utara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi.
2. Bagaimana losses dan ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa yang menyebabkan mengalirnya arus netral pada trafo distribusi.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi.
2. Menganalisa tentang losses dan ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa yang menyebabkan mengalirnya arus netral pada trafo distribusi.

1.4 Batasan Masalah

Agar tujuan penulisan tugas akhir ini sesuai dengan yang diharapkan serta terfokus pada judul dan bidang yang telah disebutkan di atas, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas, yaitu :

1. Hanya membahas tentang studi data pengukuran pembebanan trafo distribusi.
2. Menganalisa ketidakseimbangan beban trafo distribusi.
3. Menganalisa tentang arus netral dan losses pada trafo distribusi.

4. Menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi.

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui tentang losses dan ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa yang menyebabkan mengalirnya arus netral pada trafo distribusi.
2. Memahami tentang pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi.

1.6 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan dengan membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini dari buku-buku referensi baik yang dimiliki oleh penulis atau di perpustakaan dan juga dari artikel-artikel, jurnal, internet dan lain-lain.

2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data dari literatur dan melaksanakan percobaan di PLN Ranting Lubuk Pakam.

3. Studi Bimbingan

Melakukan diskusi tentang topik tugas akhir ini dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh ketua jurusan Teknik Elektro UMSU.

4. Penyusunan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian dan sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai teori tentang jaringan distribusi, trafo distribusi, dan ketidakseimbangan beban.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi mengenai data teknis alat ukur yang digunakan, data teknis trafo distribusi, data pengukuran pembebanan trafo distribusi pada siang dan malam hari.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisa pembebanan pada trafo distribusi, analisa ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi dan analisa losses sebagai akibat dari arus netral pada penghantar netral trafo dan juga losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penyusunan Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada 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 pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (28,67%), maka arus netral yang muncul juga besar (118,6A), dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (8.62%) (Julius,2006).

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T), pada beban-beban satu fasa pada pengguna jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus netral pada trafo. Arus netral 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. Dengan adanya rugi-rugi tersebut maka efisiensi trafo akan semakin rendah. Semakin besar faktor ketidakseimbangan maka akan semakin besar arus netral yang muncul dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (Badaruddin,2012).

Sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa empat kawat tegangan rendah 380 Volt/220 Volt umumnya dipergunakan untuk memasok kelompok beban

perumahan, gedung perkantoran, kawasan industri dan lainnya. Pada kondisi operasi normal, sistem distribusi tenaga listrik mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral sistem sangat kecil, yakni tidak melebihi 15% dari arus normal. Namun Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di penghantar netral, dan arus yang mengalir dipenghantar netral ini disebut dengan arus netral. Arus netral ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi) pada penghantar netral tersebut. Untuk studi kasus ini diambil data pengukuran arus pada sebuah jaringan tegangan rendah trafo distribusi 380 V/220 V dengan kapasitas daya 160 kVA. Setelah dianalisa setiap tiangnya, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (50,04%), maka arus netral yang muncul juga besar (79,5A), dan losses akibat arus netral yang timbul pada penghantar netral semakin besar pula (0,2 kW) (Yosnaldi,2013).

Ketidakeimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbullah 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 dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar, dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (Dahlan,)

Pendistribusian system tenaga listrik kepada konsumen harus memiliki kualitas dan kuantitas yang bermutu tinggi. Hal ini dilakukan agar konsumen (beban) dan produsen (PLN) dapat merasakan keuntungan yang seimbang, baik ditinjau dari sisi konsumen ataupun dari prudusen (PLN). Akan tetapi yang terjadi dilapangan tidak sebanding lurus dengan system perencanaan, salah satunya sering terjadinya pembagian beban yang tidak seimbang yang berdampak kepada mutu dari pelayanan. Pembagian beban yang tidak seimbang akan menyebabkan losses atau rugi-rugi. Dalam system distribusi kita mengenal system pembagian beban 3 phasa, yaitu phasa R, phasa S, dan pahasa T. Ketiga phasa tersebut bebannya harus seimbang. Akan tetapi penulis mendapatkan data dari PLN wilayah rayon Medan Selatan terdapat arus (beban) pada phasa netral. Hal ini menimbulkan kerugian bagi pihak PLN, dikarenakan arus beban yang mengalir pada phasa netral tidak masuk perhitungan pembayaran. Untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan suatu system analisa mengapa arus dapat terjadi pada phasa netral. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka losses dan arus yang mengalir pada kawat netral juga besar (Awaluddin,)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jaringan Distribusi

Secara garis besar, suatu sistem tenaga listrik yang lengkap mengandung empat unsur. *Pertama*, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik ini biasanya merupakan tegangan

menengah. *Kedua*, suatu sistem transmisi lengkap dengan gardu induk. Karena jarak yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan Tegangan Tinggi (TT) dan/atau Tegangan Ekstra Tinggi (TET). *Ketiga*, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dan Tegangan Menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan Tegangan Rendah (TR). *Keempat*, adanya unsur pemakaian atau utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakaian besar seperti industri menggunakan tegangan menengah atau tegangan tinggi. Gambar 2.1 memperlihatkan skema suatu sistem tenaga listrik. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sebagai sistem terinterkoneksi.

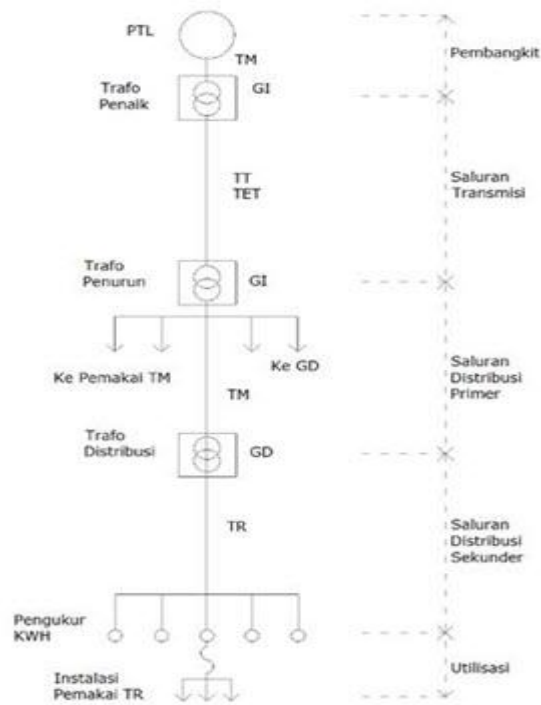
Sebagaimana diketahui, pada sistem distribusi terdapat dua bagian, yaitu distribusi primer, yang menggunakan tegangan menengah dan distribusi sekunder, yang menggunakan tegangan rendah.

2.2.1.1 Distribusi Primer

Pada distribusi primer terdapat empat jenis sistem, yaitu (a) sistem radial, (b) sistem tertutup (*loop*), (c) sistem jaringan primer, dan (d) sistem spindel.

a. Sistem Radial

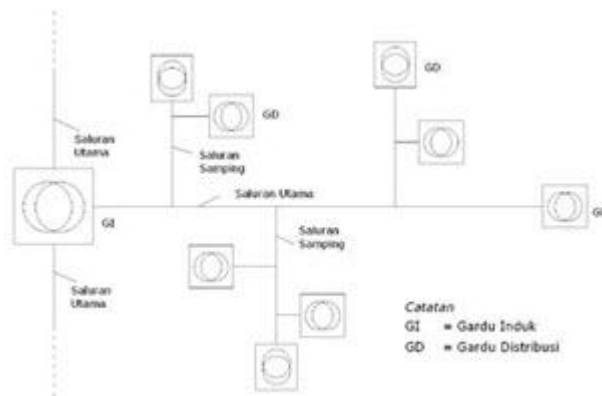
Sistem radial adalah sistem yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas saluran (*feeders*) atau rangkaian tersendiri seolah-olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. Feeder ini terdiri atas suatu bagian utama dari saluran samping atau literal lain bersumber dan dihubungkan dengan transformator distribusi sebagaimana terlihat pada gambar 2.2. saluran samping sering disambung pada busbar dengan sekring (*fuse*). Dengan demikian maka gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh fider. Pemasok pada rumah sakit atau pemakai vital lain tidak boleh mengalami gangguan yang berlangsung lama. Dalam hal demikian, satu fider tambahan disediakan, yang menyediakan suatu sumber penyedia energi alternatif. Hal ini dilakukan dengan suatu saklar pindah, seperti terlihat pada gambar 2.3.



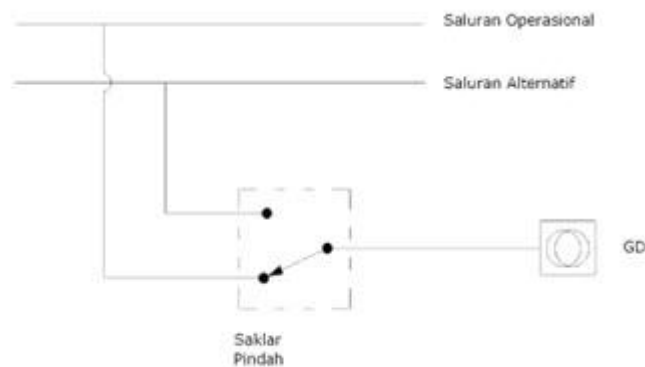
Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Keterangan :

- PTL : Pembangkit Tenaga Listrik
- GI : Gardu Induk
- TT : Tegangan Tinggi
- TET : Tegangan Ekstra Tinggi
- TM : Tegangan Menengah
- GD : Gardu Distribusi
- TR : Tegangan Rendah



Gambar 2.2 Skema saluran system radial



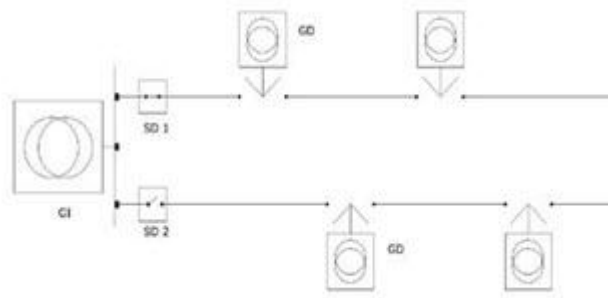
Gambar 2.3 Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah

b. Sistem Tertutup (*loop*)

Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain feeder sebagai *loop* dengan menyambung kedua ujung saluran. Hal ini mengakibatkan suatu pemakai dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Jika pasokan dari satu arah terganggu, pemakai itu akan disambung pada pasokan arah lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada setiap feeder. Sistem *loop* dapat dioperasikan secara terbuka ataupun tertutup.

Pada sistem *loop* terbuka, bagian bagian feeder tersambung melalui alat pemisah (*disconnectors*), dan kedua ujung feeder, alat pemisah sengaja dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya sistem ini terdiri dari dua feeder yang dipisahkan oleh suatu pemisah yang dapat berupa sekering (Gambar 2.4). Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari feeder yang terganggu dapat dilepas dan menyambunginya pada feeder yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan-jaringan yang relatif kecil.

Pada sistem tertutup (Gambar 2.5) diperoleh suatu tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat-alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar-saklar daya itu digerakkan oleh relay yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian feeder yang tersisa tetap berada dalam keadaan berenergi. Penggoperasian relay yang baik diperoleh dengan menggunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya. Kawat pilot ini cukup mahal untuk dipasang dan dioperasikan. Kadang-kadang rangkaian telepon yang disewa dapat diganti sebagai pengganti kawat pilot.

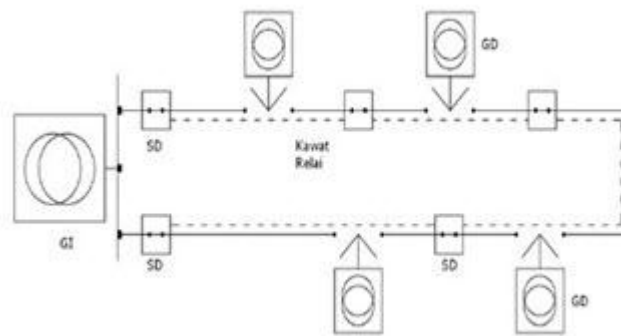


Gambar 2.4 Skema Rangkaian Loop Terbuka

Keterangan :

SD1 : Saklar Daya, Normaly Closed

SD2 : Saklar Daya, Normaly Open



Gambar 2.5 Skema Rangkaian Loop Tertutup

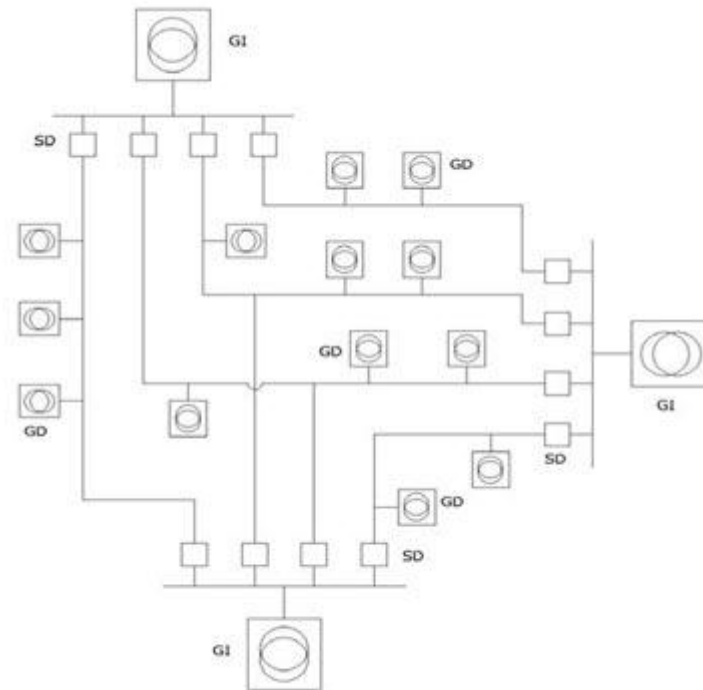
c. Sistem Jaringan Primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi-kondisi tertentu system jaringan primer lebih murah dan lebih handal dari pada system radial, namun secara relatif tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan. System ini terbentuk dengan menyambungkan saluran-saluran utama atau feeder yang terdapat pada sistem radial sehingga menjadi suatu kisi-kisi atau jaringan (Gambar 2.6). kisi-kisi ini diisi dari beberapa sumber atau gardu induk. Sebuah saklar daya antara transformator dan jaringan yang dikendalikan oleh relay-relay arus balik (*reverse current relay*) dan relay-relay penutupan kembali otomatis (*automatic reclosing relay*), melindungi jaringan terdapat pada arus-arus gangguan bila hal ini terjadi pada sisi pengisian dari gardu induk. Bagian-bagian jaringan yang terganggu akan dipisahkan oleh saklar daya dan sekring.

d. Sistem Spindel

Terutama di kota yang besar, terdapat suatu jenis gardu tertentu yang tidak terdapat transformator daya. Gardu demikian dinamakan gardu hubung (GH). GH pada umumnya menghubungkan dua arah atau lebih bagian jaringan primer kota itu. Dapat pula terjadi bahwa pada suatu GH terdapat transformator

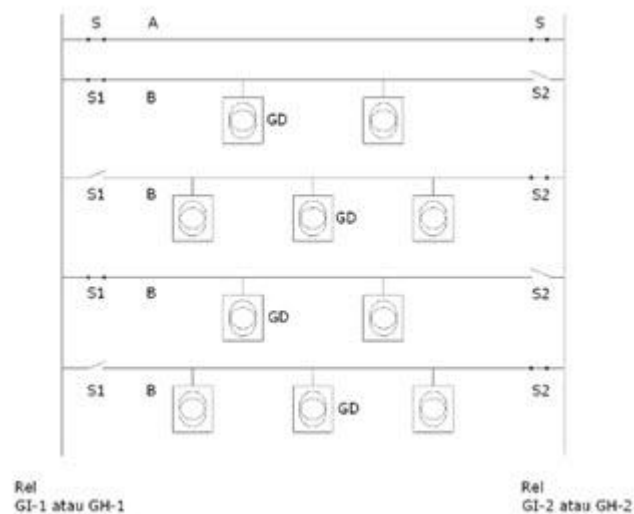
pengatur tegangan. Karena besar kota itu, kabel-kabel Tegangan Menengah (TM) mengalami turun tegangan. Tegangan yang agak rendah ini dinaikan kembali dengan bantuan transformator pengatur tegangan. Dapat juga terjadi bahwa pada GH di tumpangi sebuah Gardu Distribusi (GD). Gambar 2.7 merupakan skema prinsip dari sistem spindel.



Gambar 2.6 Skema Sistem Jaringan Primer

Keterangan :

GI : Gardu Induk
 GD : Gardu Distribusi
 SD : Saklar Daya



Gambar 2.7 Skema Prinsip Sistem Spindel

Keterangan :

- GI : Gardu Induk
 GH : Gardu Hubung
 GD : Gardu Distribusi
 S : Saklar
 A : Pengisi khusus tanpa beban GD
 B : Pengisi biasa dengan beban GD

2.2.1.2 Distribusi Sekunder

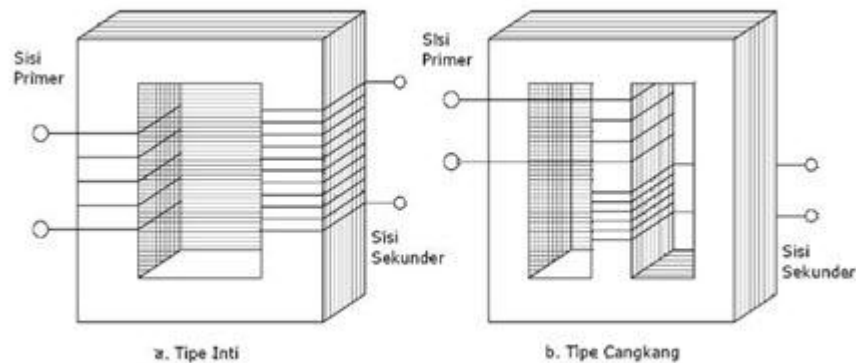
Distribusi sekunder menggunakan tegangan rendah. Seperti halnya distribusi primer, terdapat pula pertimbangan-pertimbangan perihal keandalan pelayanan dan regulasi tegangan. Sistem sekunder dapat terdiri atas empat jenis umum, yaitu:

- a. Sebuah transformator tersendiri untuk tiap pemakai.
- b. Penggunaan satu transformator dengan saluran tegangan rendah untuk sejumlah pemakai.
- c. Penggunaan satu saluran tegangan rendah yang tersambung pada beberapa transformator secara paralel. Sejumlah pemakai dilayani dari saluran tegangan rendah ini. Transformator-transformator diisi dari satu sumber energi. Hal ini disebut banking sekunder transformator.
- d. Suatu jaringan tegangan rendah yang agak besar diisi oleh beberapa transformator, yang pada akhirnya diisi oleh dua sumber energi atau lebih. Jaringan tegangan rendah ini melayani suatu jumlah pemakai yang cukup besar. Hal ini dikenal sebagai jaringan sekunder atau jaringan tegangan rendah.

2.3 Transformator

Transformator (trafo) merupakan suatu alat magnet elektrik yang sederhana, handal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar 'kaki' inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki, dan masing-masing kaki dibelit

oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang tengah-tengah dibelit oleh kedua kumparan. Kedua kumparan dalam tipe cangkang ini tergabung secara elektrik, melainkan saling tergabung secara magnetik melalui inti. Bagian datar ini di namakan 'pemikul'.



Gambar 2.8 Jenis Transformator Menurut Konstruksinya

2.3.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik.

Jika salah satu kumparan pada trafo diberi arus bolak-balik, maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada kumparan primer akan terjadi induksi. Kumparan sekunder menerima garis gaya magnet dari kumparan primer yang jumlahnya juga berubah-ubah. Maka pada kumparan sekunder akan timbul induksi juga, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan. Jumlah garis gaya (Φ) yang masuk kumparan sekunder akan sama dengan jumlah garis gaya (Φ) yang keluar dari kumparan primer.

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad \text{dan} \quad e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1 \frac{d\phi}{dt}}{-N_2 \frac{d\phi}{dt}} \quad \text{atau} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Dimana :

- e_1 : GGL induksi sesaat pada sisi primer.
- e_2 : GGL induksi sesaat pada sisi sekunder.
- E_1 : GGL induksi pada sisi primer (volt) efektif.
- E_2 : GGL induksi pada sisi sekunder (volt) efektif.
- N_1 : Jumlah lilitan kumparan primer.
- N_2 : Jumlah lilitan kumparan sekunder.

Berdasarkan hukum kekekalan energi, maka bila dianggap tidak ada kerugian daya yang hilang, daya yang dilepas oleh primer sama dengan daya yang diterima oleh sekunder.

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} &= \frac{E_2}{E_1} && \text{karena } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ maka:} \\ \frac{I_1}{I_2} &= \frac{N_2}{N_1} && \text{atau} \\ N_1 \cdot I_1 &= N_2 \cdot I_2 \end{aligned}$$

.....(2.3)

Jadi GGL induksi di masing-masing kumparan berbanding lurus dengan jumlah lilitan. Kuat arus masing-masing kumparan berbanding dengan jumlah lilitan.

2.3.2 Jenis Transformator

Menurut pasangan lilitanya, trafo dibedakan atas:

- a. Trafo 1 belitan

Pada trafo 1 belitan, lilitan primer merupakan bagian dari lilitan sekunder atau sebaliknya, trafo 1 belitan ini lebih dikenal sebagai *autotrafo*.

- b. Trafo 2 belitan

Trafo 2 belitan mempunyai 2 belitan, yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana primer dan sekunder berdiri sendiri.

- c. Trafo 3 belitan

Pada trafo 3 belitan primer, sekunder, dan tertier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

Menurut fungsinya, transformator dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi.
- c. Transformator pengukuran.

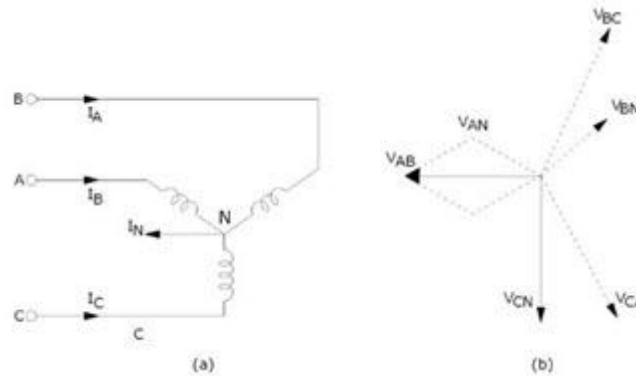
Sedangkan menurut jumlah fasanya dibedakan menjadi trafo 1 fasa dan trafo 3 fasa.

2.3.3 Hubungan Lilitan Transformator

Secara umum dikenal tiga macam hubungan lilitan untuk sebuah transformator tiga fasa, yaitu (a) hubung bintang, (b) hubung delta, dan (c) hubung zig-zag.

- a. Hubung bintang (Y)

Arus transformator 3 fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu I_A , I_B , dan I_C masing-masing berbeda fasa 120° .



Gambar 2.9 Hubungan Bintang: (a) Rangkaian hubungan bintang (b) Diagram fasor rangkaian hubung bintang

Untuk beban yang seimbang:

$$\begin{aligned}
 I_N &= I_A + I_B + I_C = 0 \\
 V_{AB} &= V_{AN} + V_{BN} = V_{AN} - V_{BN} \\
 V_{BC} &= V_{BN} - V_{CN} \\
 V_{CA} &= V_{CN} - V_{AN}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari vector diagram pada Gambar 2.9 (b) diketahui bahwa untuk hubungan bintang berlaku:

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= \sqrt{3V_{AN}} \quad \text{atau} \quad V_L = \sqrt{3V_P} \\
 I_P &= I_L
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(2.5)$$

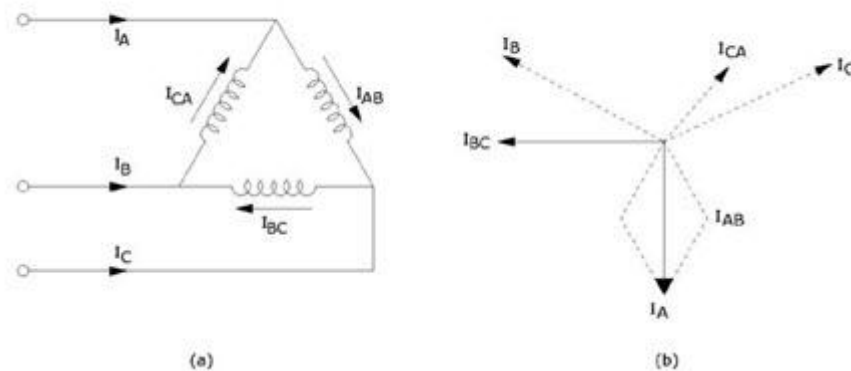
Jadi besarnya daya pada hubungan bintang (VA):

$$\begin{aligned}
 &= 3V_P I_P \\
 &= 3(V_L/\sqrt{3})I_L \\
 &= \sqrt{3V_L I_L}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(2.6)$$

b. Hubung Delta (Δ)

Tegangan transformator 3 fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta yaitu V_{AB} , V_{BC} , dan V_{AC} masing-masing berbeda 120°

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{AC} = 0$$



Gambar 2.10 Hubungan Delta: (a) rangkaian hubungan delta
(b) diagram favor rangkaian hubungan delta

Untuk beban yang seimbang:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

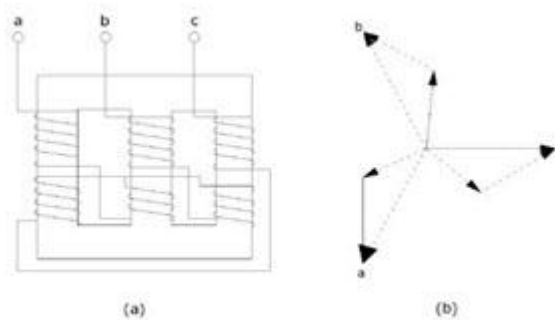
Dengan vektor diagram pada gambar 2.10 (b) diketahui arus I_A (arus jala-jala) adalah $\sqrt{3} \times I_{AB}$ (arus fasa). Tegangan jala-jala dalam hubungan delta sama dengan tegangan fasanya.

$$\begin{aligned} \text{Besarnya daya pada hubungan delta (VA)} &= 3V_p I_p \\ &= 3(V_L/\sqrt{3})I_L \\ &= \sqrt{3}V_L I_L \\ \dots\dots\dots(2.6) \end{aligned}$$

c. Hubungan zig-zag

Pada hubung zig-zag, dimana masing-masing lilitan 3 fasa pada sisi tegangan rendah, dibagi menjadi 2 bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan. Hubungan zig-zag dapat digambarkan seperti terlihat pada Gambar 2.11.

Hubungan silanga atau zig-zag digunakan untuk keperluan khusus seperti pada transformator distribusi dan transformator *converter*.



Gambar 2.11 Hubungan Zig-zag: (a) Rangkaian hubungan zig-zag
(b) Diagram vektor hubungan zig-zag.

2.3.4 Kelompok Hubungan

Vektor tegangan primer dan sekunder suatu transformator dapat dibuat searah atau berlawanan dengan mengubah cara melilit kumparan. Untuk transformator 3 fasa, arah tegangan akan menimbulkan perbedaan fasa. Arah dan besar fasa tersebut mengakibatkan adanya berbagai kelompok hubungan pada transformator.

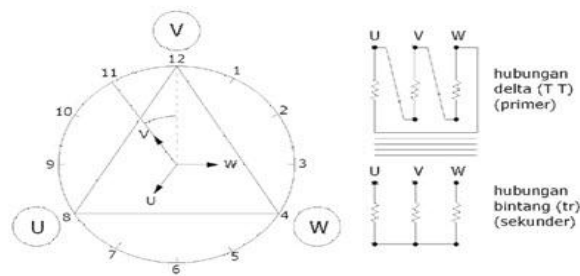
Dalam menentukan kelompok hubungan diambil beberapa pedoman sebagai berikut:

- a. masing adalah D , Y , dan Z untuk sisi tegangan tinggi, sedangkan d , y , dan z untuk sisi tegangan rendah.
- b. Untuk urutan fasa dipakai notasi U , V , dan W untuk tegangan tinggi, dan u , v , dan w sebagai tegangan rendah.
- c. Angka jam menyatakan bagaimana letak sisi kumparan tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah.
- d. Jarum jam panjang selalu dibuat menunjuk angka 12 dan dibuat berhimpit (dicocokkan) dengan vektor fasa V_L tegangan tinggi *line to line*.
- e. Bergantung pada perbedaan fasanya, vektor fasa tegangan rendah (u , v , w) dapat dilukiskan: letak vektor fasa v_i tegangan rendah *line to line* menunjukkan arah jarum jam pendek.
- f. Sudut antara jarum jam panjang dan pendek adalah pergeseran antara vektor fasa V dan v .

Sedangkan kelompok hubungan transformator yang lazim digunakan sesuai dengan normalisasi pabrik seperti terlihat pada Gambar 2.13 (VDE 0532) adalah:

- Angka jam 0 atau grup A, kelompok hubungan Dd0, Yy0, Dz0
- Angka jam 6 atau grup B, kelompok hubungan Dd6, Yy6, Dz6
- Angka jam 5 atau grup C, kelompok hubungan Dy5, Yd5, Yz5
- Angka jam 11 atau grup D, kelompok hubungan Dy11, Yd11, Yz11

Dengan melihat contoh pada Gambar 2.12 dan memperhatikan pedoman yang telah diberikan diatas, dapat diketahui bahwa perbedaan fasa pada transformator mempunyai kelompok hubungan Dy11.



Gambar 2.12 Kelompok hubungan Dy11

Tabel 2.1 Kelompok Hubungan menurut VDE 0532

Angka jam	Kelompok hubungan	TT Tegangan Tinggi	tr Tegangan Rendah	Hubungan Lilitan TT	Hubungan Lilitan tr	Perbandingan Lilitan H
0	Dd0					N1 N2
	Yy0					N1 N2
	Dz0					2N1 3N2
5	Dy5					N1 √3N2
	Yd5					√3N1 N2
	Yz5					2N1 √3N2
6	Dd6					N1 N2
	Yy6					N1 N2
	Dy11					2N1 √3N2
11	Yd11					√3N1 N2
	Yz11					2N1 √3N2

2.3.5 Rugi-rugi dan Efisiensi Transformator

Rugi-rugi pada transformator ada 2 macam yaitu rugi tembaga (P_{Cu}) dan rugi besi (P_i). Dimana rugi besi sendiri terdiri atas rugi histeresis dan rugi arus eddy.

a. Rugi tembaga (P_{Cu})

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga. Besarnya adalah:

$$P_{Cu} = I^2 \cdot R \tag{2.7}$$

Dimana :

P_{Cu} : rugi tembaga (watt)

I : arus beban yang mengalir pada kawat tembaga (Ampere)

R : tahanan kawat tembaga (Ω)

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

b. Rugi besi (P_i)

- Rugi histeresis (P_h), yaitu yang di sebabkan fluks bolak-balik pada inti besi. Besarnya rugi histeresis berbanding luas dengan histeresis loop, atau dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

P_i : rugi histerisis (watt)

B_m : fluks density maksimum (Tesla)

K_h : konstanta histerisis

f : frekuensi (Hz)

n : koefisien steinmetz, didapat dari data eksperimen

- Rugi arus eddy (P_e), yaitu yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e^2 \cdot f \cdot B_m \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

P_e : rugi arus eddy (watt)

K_e : konstanta arus eddy

Jadi, rugi besi (rugi inti) $P_i = P_h + P_e$

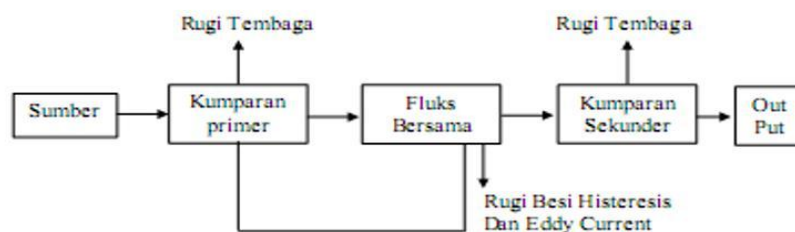
2.3.6 Efisiensi (η)

Efisiensi dihitung dari perbandingan daya keluar (output):

$$\begin{aligned} \text{efisiensi } (\eta) &= \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya masuk}} = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya keluar} + \sum \text{rugi}} \\ &= 1 - \frac{\sum \text{rugi}}{\text{daya masuk}} \end{aligned}$$

Dengan $\sum \text{rugi} = P_{Cu} + P_i$

$$\dots\dots\dots(2.10)$$



Gambar 2.14 Diagram rugi-rugi transformator

2.4 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan salah satu alat yang memegang penting dalam sistem distribusi. Trafo distribusi digunakan untuk membagi / menyalurkan arus atau energi listrik dengan tegangan distribusi agar jumlah energi yang tercecer dan hilang diperjalanan tidak terlalu banyak.

Trafo distribusi dapat berfasa tunggal atau fasa tiga, dan ukurannya berkisar dari kira-kira 5-500 kVA. Impedansi trafo distribusi ini pada umumnya sangat rendah, berkisar dari 2% untuk unit-unit yang berkurang dari 50 kVA sampai dengan 4% untuk unit-unit yang lebih besar dari 100 kVA. Gambar 2.15 memperlihatkan beberapa macam trafo distribusi tipe kutub yang banyak digunakan.

2.4.1 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat

Telah diketahui bahwa daya transformator distribusi ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi primer transformator (kV)
- I : arus jala-jala (A)

Dengan demikian, untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

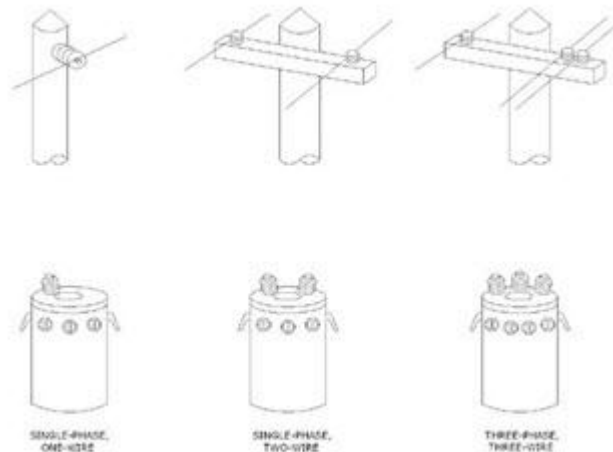
- I_{FL} : arus beban penuh (A)
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi sekunder transformator ((kV)

Sedangkan untuk menghitung arus hubung singkat pada transformator digunakan rumus:

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \cdot \sqrt{3} \cdot V} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

- I_{SC} : arus hubung singkat (A)
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi sekunder transformator (kV)
- $\%Z$: persen impedansi transformator



Gambar 2.15 Beberapa Macam Trafo distribusi tipe kutub

2.4.2 Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya arus Nertal pada Penghantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, S, dan T) mengalirlah 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:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

P_N : losses pada penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

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

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

P_G : losses akibat arus netral yang mengalir ketanah (watt)

I_G : arus netral yang mengalir ketanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.5 Ketidakseimbangan Beban

2.5.1 Pengertian Tentang Beban Tidak Seimbang

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

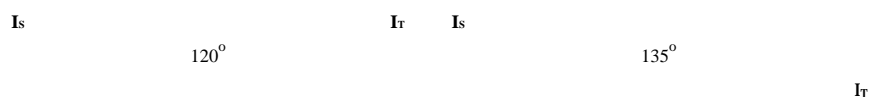
- Ketiga vektor/tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

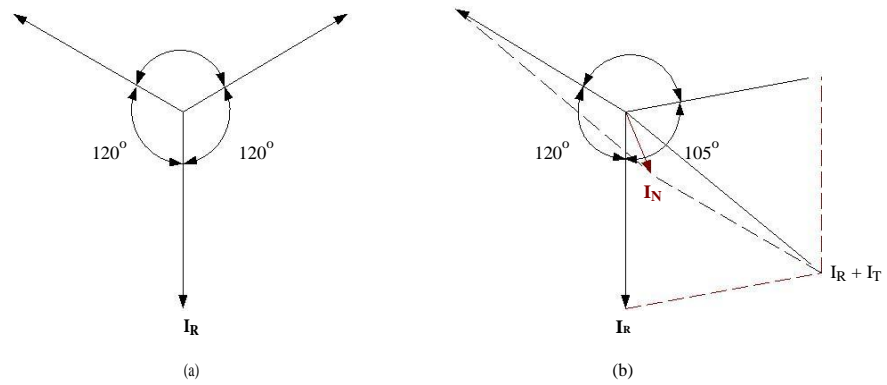
Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan tidak seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 macam, yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan dengan vektor diagram arus pada Gambar 2.16.





Gambar 2.16 Vektor Diagram: (a) Vektor diagram arus dalam keadaan seimbang (b) vektor diagram arus yang tidak seimbang

Gambar 2.16 (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , dan I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2.16 (b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , dan I_T) tidak sama dengan nol, sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya tergantung dari beberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.5.2 Penyaluran dan Susut Daya Pada Keadaan Arus Seimbang

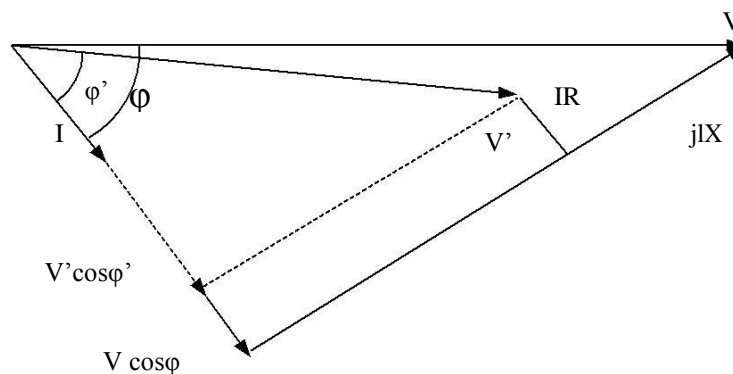
Misalkan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

- P : daya pada ujung kirim
- V : tegangan pada ujung kirim
- $\cos \varphi$: faktor daya

daya yang sampai pada ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Penyusutan daya ini dapat diterangkan dengan menggunakan diagram fasor tegangan saluran model fasa tunggal seperti terlihat pada gambar 2.17 dibawah ini:



Gambar 2.17 Diagram fasor tegangan saluran daya model fasa tunggal Model ini dibuat dengan asumsi bahwa arus pemuatan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian besarnya arus diujung

kiriman sama dengan arus diujung terima. Apabila tegangan dan faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah V' dan $\cos\phi'$, daya pada ujung terima adalah:

$$P' = 3 \cdot [V'] \cdot [I] \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.17)$$

Selisih antara P pada persamaan (2.16) dan P' pada persamaan (2.17) memberikan susut daya saluran, yaitu:

$$P_l = P - P' \\ = 3 \cdot [I] \cdot [[V] \cos\phi - [V'] \cos\phi'] \dots\dots\dots(2.18)$$

Sementara itu Gambar 2.17 memperlihatkan bahwa:

$$[[V] \cos\phi - [V'] \cos\phi'] = [I] \cdot R$$

Dengan R adalah tahanan kawat penghantar tiap fasa. Oleh karena itu persamaan (2.18) berubah menjadi:

$$P_l = 3 \cdot [I]^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.19)$$

2.5.3 Penyaluran dan Susut Daya Pada Keadaan Arus Tak Seimbang

Jika (I) adalah besaran 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:

$$\left. \begin{aligned} [I_R] &= a[I] \\ [I_S] &= b[I] \\ [I_T] &= c[I] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan $I_R, I_S,$ dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa $R, S,$ dan T . Telah disebutkan diatas bahwa faktor daya ketiga fasa dianggap sama walaupun besar arus berbeda. Dengan anggapan seperti itu besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.21)$$

Apabila persamaan (2.21) dan persamaan (2.16) menyatakan daya yang besarnya sama, maka kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan koefisien $a, b,$ dan c yaitu:

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots(2.22)$$

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

$$I_N = I_R + I_S + I_T \dots\dots\dots(2.23) \\ = [I][a + b \cos(-120^\circ) + jb \sin(-120^\circ) + c \cos(-120^\circ) + jc \sin(-120^\circ)] \\ = [I] \left[a - \frac{b+c}{2} + j(c-b)(\sqrt{3})/2 \right]$$

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

$$P'_l = ([I_R]^2 + [I_S]^2 + [I_T]^2) \cdot R + [I_N]^2 \cdot R_N$$

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

Dengan R_N adalah tahanan penghantar netral.

Apabila persamaan (2.22) disubstitusikan ke persamaan (2.24) maka diperoleh:

$$P'_l = (9 - 2(ab + ac + bc))[I]^2R + (9 - 3(ab + ac + bc))[I_N]^2R_N \dots\dots(2.24)$$

Persamaan (2.24) ini adalah susut daya saluran untuk saluran dengan penghantar netral. Apabila tidak penghantar netral maka persamaannya menjadi:

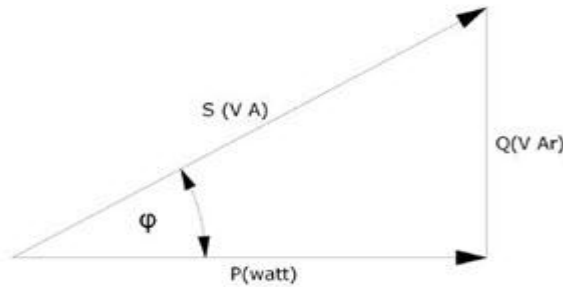
$$P'_l = (9 - 2(ab - ac - bc))[I]^2R \dots\dots\dots(2.25)$$

2.6 Faktor Daya

Pengertian faktor daya ($\cos\phi$) adalah perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S). dari perbandingan tersebut, faktor daya ($\cos\phi$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= (\text{daya aktif} / \text{daya semu}) \\ &= (P/S) \\ &= (V.I.\cos\phi / V.I) \\ &= \cos\phi \end{aligned}$$

Untuk penjelasan tentang daya-daya dapat dilihat pada segitiga daya berikut ini:



Gambar 2.18 Segitiga daya

$$\begin{aligned} \text{Daya Semu (S)} &= V.I \quad (\text{VA}) \\ \dots\dots\dots(2.26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Aktif (P)} &= V.I.\cos\phi \quad (\text{Watt}) \\ \dots\dots\dots(2.27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Raktif (Q)} &= V.I \sin\phi \quad (\text{VAR}) \\ \dots\dots\dots(2.28) \end{aligned}$$

2.7 Listrik Arus Bolak Balik 3 Fasa

2.7.1 Pengertian

Yang dimaksud dengan listrik arus bolak-balik 3 fasa adalah arus bolak-balik yang terdiri dari 3 (tiga) keluaran yang disebut dengan fasa, dengan bentuk sinusioda dimana besar/nilai tegangannya sama. Frekuensi sama tetapi masing-masing berbeda 1/3 periode (120^0)

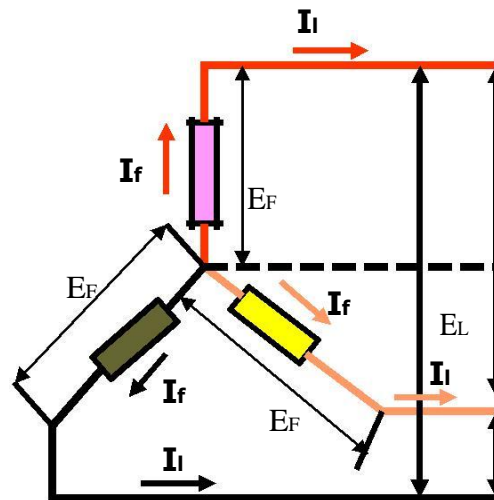
2.7.2 Listrik Arus Bolak Balik 3 Fasa

Tiga buah belitan serupa berbeda tempat 120^0 pada ruangan bulat timbul ggl (gerak gaya listrik) sebagai akibat dari induksi medan magnet penguat. Besar ggl dan frekuensi yang timbul sama, tetapi berbeda 120^0 satu dengan yang lain.

2.8 Tegangan Dan Arus

Tegangan dan arus keluaran dari generator arus trafo dapat dibedakan berdasarkan hubungan antar belitannya.

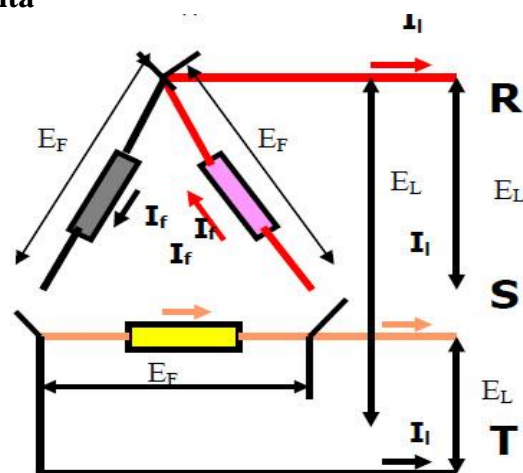
2.8.1 Hubungan Bintang



Gambar 2.19 Diagram hubung bintang

- Tegangan setiap belitan disebut dengan tegangan fasa = E_f
- Tegangan antar fasa disebut tegangan line = E_l
- $E_l = E_f \cdot \sqrt{3}$
- Arus yang keluar dari belitan disebut arus fasa I_f dan arus yang keluar dari terminal disebut arus line I_l . Arus line besarnya sama dengan arus fasa : $I_l = I_f$

2.8.2 Hubungan Delta

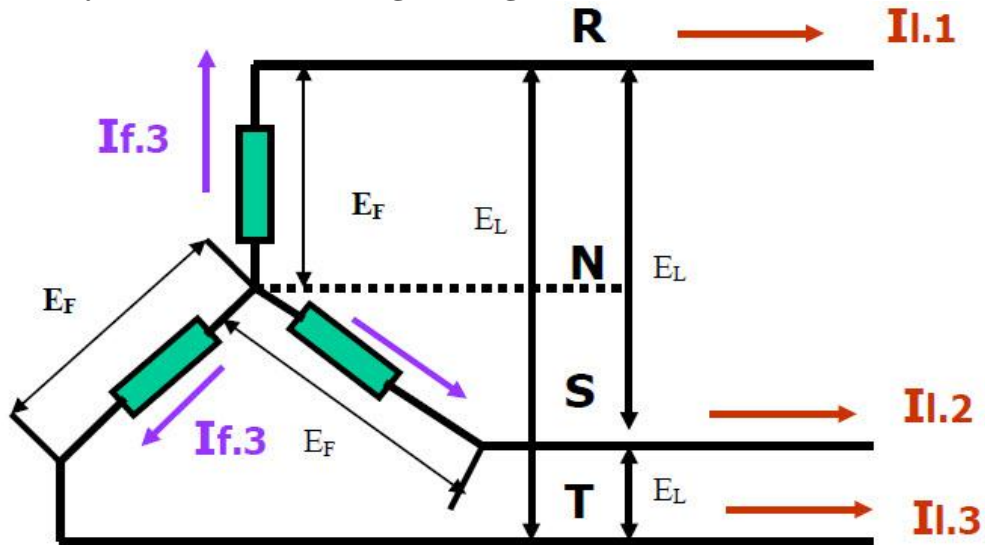


Gambar 2.20 Diagram hubung delta

- Tegangan line besarnya sama dengan tegangan fasa : $E_l = E_f$
- Arus line besarnya sama dengan arus fasa dikalikan $\sqrt{3}$

- $I_l = I_f \cdot \sqrt{3}$

2.8.3 Daya listrik 3 fasa hubung bintang



Gambar 2.21 Diagram daya listrik 3 fasa hubung bintang

Daya 3 fasa = daya fasa 1 + daya fasa 2 + daya fasa 3

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= (I_{f1} \times V_{f1} \times \cos\phi_1) + (I_{f2} \times V_{f2} \times \cos\phi_2) + (I_{f3} \times V_{f3} \times \cos\phi_3)$$

Bila tegangan dan beban seimbang, maka :

$$P_{3\phi} = 3 \times (I_f \times V_f \times \cos\phi)$$

.....(2.29)

Diketahui bahwa :

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}} \quad \text{dan} \quad I_f = I_l$$

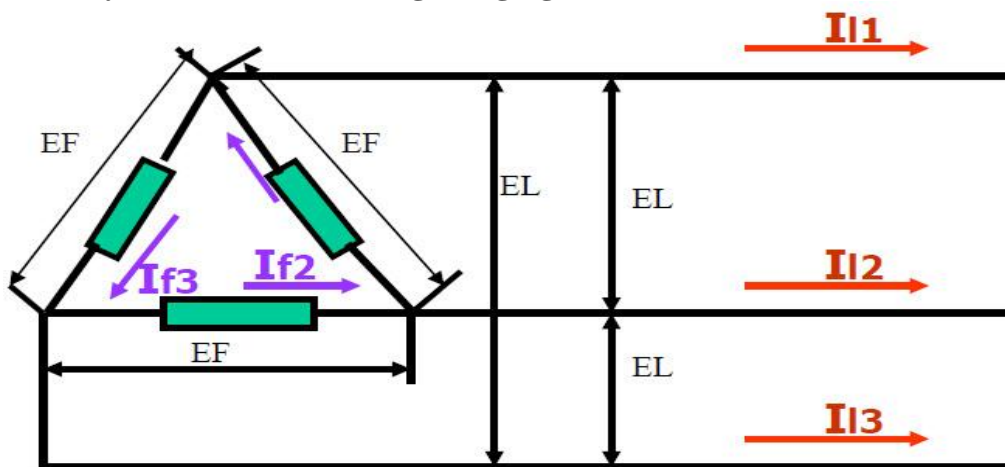
Maka :

$$P_{3\phi} = \frac{3 \times V_l \times I_l \times \cos\phi}{\sqrt{3}}$$

Atau :

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times (I_l \times V_l \times \cos\phi)$$

2.8.4 Daya listrik 3 fasa hubungan segitiga



Gambar 2.22 diagram daya listrik 3 fasa hubungan segitiga

$$\begin{aligned}
 \text{Daya 3 fasa} &= \text{daya 1 fasa} + \text{daya 2 fasa} + \text{daya 3 fasa} \\
 P_{3\phi} &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= (I_{f1} \times V_{f1} \times \cos\phi_1) + (I_{f2} \times V_{f2} \times \cos\phi_2) + (I_{f3} \times V_{f3} \times \cos\phi_3)
 \end{aligned}$$

Bila tegangan dan beban seimbang, maka :

$$I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}} \quad \text{dan} \quad V_f = V_l$$

Maka :

$$P_{3\phi} = \frac{3 \times V_l \times I_l \times \cos \varphi}{\sqrt{3}}$$

Atau :

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times (I_l \times V_l \times \cos \varphi)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah trafo distribusi 250 kVA di Jln. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ, trafo distribusi 250 kVA di Jln. Batang kuis DP Pabrik Sahabat, trafo distribusi 100 kVA di Jln. Pendidikan, dan trafo distribusi 200 kVA di Jln. Bakaran Batu.

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Power Meter

Merk : Constant 240 W

2. Amper Meter

Merk : Kyoritsu 2040

3. Laptop

Merk : Acer aspire V5-431

Processor : Intel® celeron® CPU 887 @1.50GHz (2CPUs)

RAM : 2048 MB

3.3 Data Penelitian

3.3.1 Data Teknis Trafo Distribusi

Transformator yang menjadi penelitian pada tugas akhir ini hanya 4 buah transformator distribusi, yaitu :

trafo distribusi 250 kVA di Jln. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ, trafo distribusi 250 kVA di Jln. Batang kuis DP Pabrik Sahabat, trafo distribusi 100 kVA di Jln. Pendidikan, dan trafo distribusi 200 kVA di Jln. Bakaran Batu. Adapun spesifikasi tiap-tiap trafo adalah sebagai berikut :

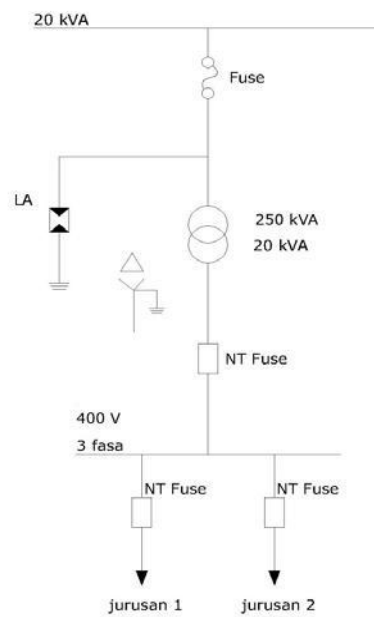
Tabel 3.1 Data Spesifikasi Transformator

Data	Transformator			
	Jln. Medan – L. pakam	Jln. Batang Kuis	Jln. Pendidikan	Jln. Bakaran Batu
Daya (kVA)	250	250	100	200
Tegangan (kV/V)	20 /400	20/400	20/400	20/380

Arus (A)	7,2/361,3	7,2/360,8	2,19/144	5,8/303,9
Impedansi (Z)	4%	4%	4%	5%
Hubungan	Dyn5	Dyn5	Yzn5	Yyn6

3.3.2 Data Pembebanan Trafo Distribusi

1. Trafo distribusi 250 kVA di Jln. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ



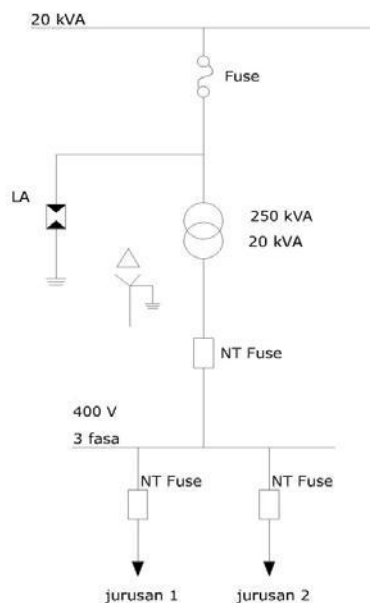
Gambar 3.1 Single line distribusi 250 kVA di Jln. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ

Tabel 3.2 Hasil pengukuran arus pada siang hari dan malam hari

Pengukuran				
LWBP	Jurusan Outgoing		Incoming	
	Timur	Barat	Amp	%
R (Amp)	133	14	149	41
S (Amp)	141	22	167	46
T (Amp)	130	8	130	36
N (Amp)	40	13	54	-
Beban (%)	36	4	-	
WBP				
R (Amp)	232	34	262	73
S (Amp)	294	54	348	96
T (Amp)	259	85	344	95
N (Amp)	134	38	156	Beban 86

Beban (%)	71	16	% 215 kVA
Teg. Ujung L-N (Volt)	218	213	
Penghantar JTR	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 350 mm	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 350 mm	

2. Trafo distribusi 250 kVA di Jln. Batang kuis DP Pabrik Sahabat



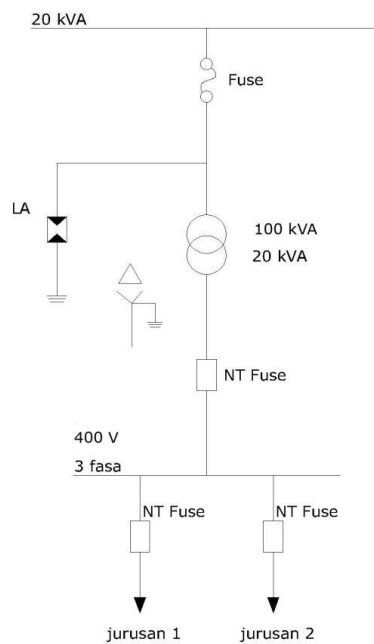
Gambar 3.2 single line trafo distribusi 250 kVA di Jln. Batang kuis DP Pabrik sahabat

Tabel 3.3 Hasil pengukuran arus pada siang hari dan malam hari

LWBP	Pengukuran			
	Jurusan Outgoing		Incoming	
	Timur	Barat	Amp	%
R (Amp)	63	126	189	52
S (Amp)	57	97	154	43
T (Amp)	88	100	188	52
N (Amp)	34	4	44	-
Beban (%)	19	29	-	-
WBP				
R (Amp)	90	288	354	94
S (Amp)	93	288	352	93
T (Amp)	90	288	356	95
N (Amp)	29	15	40	Beban 96% 225
Beban (%)	25	78		

Teg. Ujung L-N (Volt)	210	210	kVA
Penghantar JTR	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 350 mm	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 350 mm	

3. Trafo distribusi 100 kVA di Jln. Pendidikan



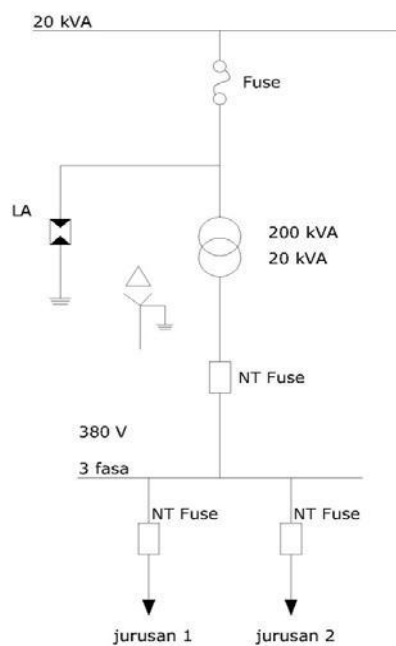
Gambar 3.3 Single line trafo distribusi 100 kVA di Jln. Pendidikan

Tabel 3.4 Hasil pengukuran arus pada siang hari dan malam hari

Pengukuran				
LWBP	Jurusan Outgoing		Incoming	
	Timur	Barat	Amp	%
R (Amp)	60	17	77	53
S (Amp)	38	10	48	33
T (Amp)	50	14	64	44
N (Amp)	33	10	44	-
Beban (%)	33	9	-	-
WBP				
R (Amp)	74	31	105	73
S (Amp)	73	23	94	65
T (Amp)	105	32	137	95
N (Amp)	61	24	83	Beban 102 % 255
Beban (%)	57	19		

Teg. Ujung L-N (Volt)	216	217		kVA
Penghantar JTR	NTFUSE 100 A TIC 50 mm 550 mm	NTFUSE 100 A TIC 50 mm 500 mm		

4. Trafo distribusi 200 kVA di Jln. Bakaran batu



Gambar 3.4 Single line trafo distribusi 200 kVA di Jln. Bakaran batu

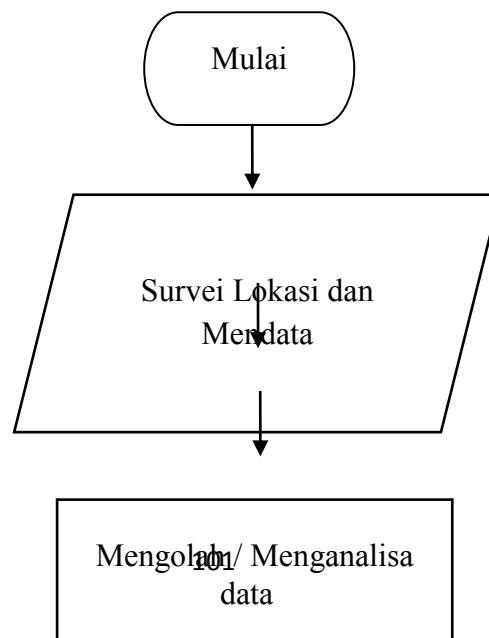
Tabel 3.5 Hasil pengukuran arus pada siang dan malam hari

Pengukuran				
LWBP	Jurusan Outgoing		Incoming	
	Timur	Barat	Amp	%
R (Amp)	58	28	86	28
S (Amp)	48	33	81	27
T (Amp)	69	12	81	27
N (Amp)	35	21	40	-
Beban (%)	19	8	-	-
WBP				
R (Amp)	90	57	147	48
S (Amp)	131	60	191	63
T (Amp)	87	17	104	34
N (Amp)	75	45	95	Beban 48

Beban (%)	34	15		% 96
Teg. Ujung L-N (Volt)	170	165		kVA
Penghantar JTR	TIC 50 mm 950 Mm	TIC 70 mm 1200 Mm		

3.4 Flowchart (Alur Diagram)

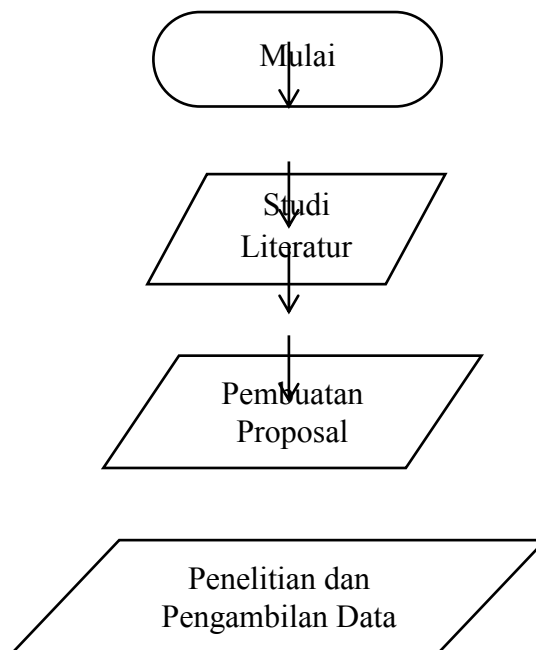
Prosedur penyusunan kerangka penelitian adalah sebagai berikut:



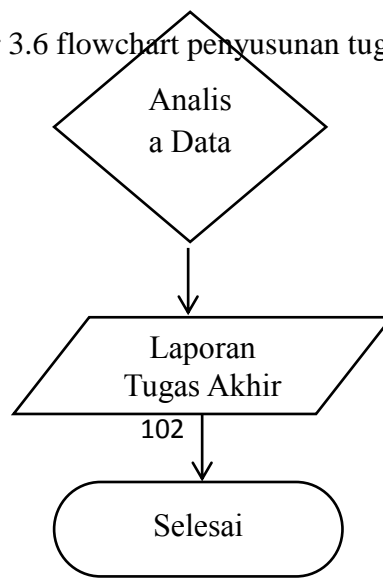


Gambar 3.5 flowchart penelitian

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 flowchart penyusunan tugas akhir



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pembebanan Trafo Distribusi

Untuk menentukan besarnya fuse out maka harus dihitung besarnya arus jalan dengan menggunakan persamaan (2.11)

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

$$200 = \sqrt{3} \cdot 20kV \cdot I$$

$$I = \frac{200 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}}$$

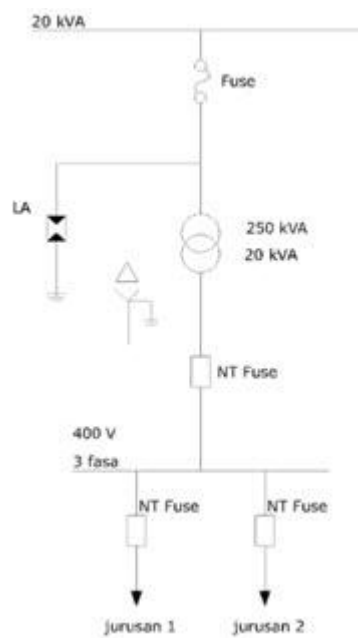
$$= 5,77 \text{ ampere} \approx 6A$$

Besarnya arus hubung singkatnya (*short circuit*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.13)

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \cdot \sqrt{3} \cdot V}$$

$$= \frac{200 \cdot 100}{4\sqrt{3} \cdot 0,4}$$

$$= 7225,4 \text{ A}$$



Gambar 4.1 Single line trafo distribusi 250 beserta rating pengamannya

4.1.1 Menentukan Persentase Pembebanan Trafo

- Trafo distribusi 250 kVA di Jl. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran trafo distribusi 250kVA pada siang dan malam hari sebagai berikut:

- Siang hari:

$$I_R = 149A$$

$$I_S = 167A$$

$$I_T = 130A$$

- Malam hari:

$$I_R = 262A$$

$$I_S = 348A$$

$$I_T = 344A$$

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*) dengan menggunakan persamaan (2.12).

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad \text{dimana:} \quad S = 250 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa-phasa}$$

$$I_{FL} = \frac{250.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 360,84 \text{ A}$$

$$I_{rata \text{ siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(149+167+130)A}{3} = 148,6 \text{ A}$$

$$I_{rata \text{ malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(262+348+344)A}{3} = 318 \text{ A}$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

$$- \text{ Pada siang hari} \quad : \frac{I_{rata \text{ siang}}}{I_{FL}} = \frac{148,6 \text{ A}}{360,84 \text{ A}} \times 100\% = 41,18\%$$

$$- \text{ Pada malam hari} \quad : \frac{I_{rata \text{ malam}}}{I_{FL}} = \frac{318 \text{ A}}{360,84 \text{ A}} \times 100\% = 88,12\%$$

- b. Trafo distribusi 250 kVA di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat

Data hasil pengukuran trafo distribusi 250 kVA pada siang dan malam hari sebagai berikut:

- Siang hari:

$$I_R = 189A$$

$$I_S = 154A$$

$$I_T = 188A$$

- Malam hari:

$$I_R = 354A$$

$$I_S = 352A$$

$$I_T = 356A$$

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*):

$$I_{FL} = \frac{250.000}{\sqrt{3}.400} = 360,84 A$$

$$I_{rata\ siang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(189 + 154 + 188)A}{3} = 177 A$$

$$I_{rata\ malam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(354 + 352 + 356)A}{3} = 354A$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

- Pada siang hari : $\frac{I_{rata\ siang}}{IFL} = \frac{177 A}{360,84 A} \times 100\% = 49,05\%$
- Pada malam hari : $\frac{I_{rata\ malam}}{IFL} = \frac{354A}{360,84 A} \times 100\% = 98\%$

c. Trafo distribusi 100 kVA di Jl. Pendidikan

Data hasil pengukuran trafo distribusi 100 kVA pada siang dan malam hari sebagai berikut:

- Siang hari:

$$I_R = 77A$$

$$I_S = 48A$$

$$I_T = 64A$$

- Malam hari:

$$I_R = 105A$$

$$I_S = 94A$$

$$I_T = 137A$$

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*):

$$I_{FL} = \frac{100.000}{\sqrt{3.400}} = 144,33 A$$

$$I_{rata\ siang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(77 + 48 + 64)A}{3} = 63 A$$

$$I_{rata\ malam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(105 + 94 + 137)A}{3} = 112 A$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

$$- \text{ Pada siang hari} \quad : \frac{I_{rata\ siang}}{I_{FL}} = \frac{63 A}{144,33 A} \times 100\% = 43,64\%$$

$$- \text{ Pada malam hari} \quad : \frac{I_{rata\ malam}}{I_{FL}} = \frac{112 A}{144,33 A} \times 100\% = 77,59\%$$

d. Trafo distribusi 200 kVA di Jl. Bakaran Batu

Data hasil pengukuran trafo distribusi 200 kVA pada siang dan malam hari adalah sebagai berikut:

- Siang hari:

$$I_R = 86 A$$

$$I_S = 81A$$

$$I_T = 81A$$

- Malam hari:

$$I_R = 147A$$

$$I_S = 191A$$

$$I_T = 104A$$

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*):

$$I_{FL} = \frac{200.000}{\sqrt{3}.400} = 303,86 A$$

$$I_{rata\ siang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(86+81+81)A}{3} = 82,66 A$$

$$I_{rata\ malam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{(147+191+104)A}{3} = 147,33 A$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

$$- \text{ Pada siang hari} \quad : \frac{I_{rata\ siang}}{I_{FL}} = \frac{82,66 A}{360,84 A} \times 100\% = 27,2\%$$

$$- \text{ Pada malam hari} \quad : \frac{I_{rata\ malam}}{I_{FL}} = \frac{147,33 A}{360,84 A} \times 100\% = 48,48\%$$

Tabel 4.1 Persentase pembebanan trafo distribusi

Lokasi Trafo	Jenis Pelanggan	Pembebanan (%)	
		Siang Hari	Malam Hari
Jl. Medan-L.Pakam Sp.DLLAJ	Perumahan	41,18	88,12
Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat	Perumahan dan bisnis	49,05	98
Jl. Pendidikan	Perumahan dan bisnis	43,64	77,59
Jl. Bakaran Batu	Perumahan	27,2	48,48

Pada table 4.1 terlihat bahwa persentase pembebanan paling tinggi pada siang dan malam hari ialah di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat. Hal ini disebabkan Jalan Batang Kuis adalah kawasan perumahan dan bisnis.

4.2 Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi

a. Trafo distribusi 250 kVA di Jl. Medan-L.Pakam SP. DLLAJ

- Pada siang hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{149 A}{148,6 A} = 1,002 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{167 A}{148,6 A} = 1,12 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{130 A}{148,6 A} = 0,87 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,002-1|+|1,12-1|+|0,87-1|\}}{3} \times 100\% = 8,33\% \end{aligned}$$

- Pada malam hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{262 A}{318 A} = 0,82 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{348 A}{318 A} = 1,09 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{344 A}{318 A} = 1,08 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,82-1|+|1,09-1|+|1,08-1|\}}{3} \times 100\% = 11,66\% \end{aligned}$$

b. Trafo distribusi 250 kVA di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat

- Pada siang hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{189 A}{177 A} = 1,06 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{154 A}{177 A} = 0,87 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{188 A}{177 A} = 1,06 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,06-1|+|0,87-1|+|1,06-1|\}}{3} \times 100\% = 8,33\% \end{aligned}$$

- Pada malam hari

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{378 A}{379 A} = 0,99 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{381 A}{379 A} = 1,00 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{378 A}{379 A} = 0,99 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,99-1|+|1,00-1|+|0,99-1|\}}{3} \times 100\% = 0,66\% \end{aligned}$$

c. Trafo distribusi 100 kVA di Jl. Pendidikan

- Pada siang hari

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{77 A}{63 A} = 1,22 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{48 A}{63 A} = 0,76 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{64 A}{63 A} = 1,02 A$$

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

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

$$= \frac{\{|1,22-1|+|0,76-1|+|1,02-1|\}}{3} \times 100\% = 16\%$$

- Pada malam hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{105 A}{112 A} = 0,9375 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{94 A}{112 A} = 0,83 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{137 A}{122 A} = 1,22 A$$

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

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

$$= \frac{\{|0,9375-1|+|0,83-1|+|1,22-1|\}}{3} \times 100\% = 15\%$$

- d. Trafo distribusi 200 kVA di jl. Bakaran Batu

- Pada siang hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{86 A}{82,66 A} = 1,04 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{81 A}{82,66 A} = 0,97 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{81 A}{82,66 A} = 0,97 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,04-1|+|0,97-1|+|0,97-1|\}}{3} \times 100\% = 3,33\% \end{aligned}$$

- Pada malam hari:

Dengan menggunakan persamaan (2.20) koefisien ketidakseimbangan beban (a, b, dan c) dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a.I \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{147 A}{147,33 A} = 0,99 A$$

$$I_S = b.I \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I} = \frac{191 A}{147,33 A} = 1,29 A$$

$$I_T = c.I \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I} = \frac{104 A}{147,33 A} = 0,70 A$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,99-1|+|1,29-1|+|0,70-1|\}}{3} \times 100\% = 20\% \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Ketidakseimbangan beban trafo distribusi

Lokasi Trafo	Waktu	Ketidakseimbangan beban
Jl.Medan-L.Pakam SP. DLLAJ	Siang	8,33%
	Malam	11,66%
Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat	Siang	8,33%
	Malam	0,66%
Jl. Pendidikan	Siang	16%
	Malam	15%
Jl. Bakaran Batu	Siang	3,33%
	Malam	20%

Pada table 4.2 terlihat bahwa dari keempat trafo distribusi pada siang hari ketidakseimbangan bebannya paling besar adalah pada pelanggan perumahan dan bisnis (Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat), sedangkan pada malam hari, jenis pelanggan perumahan (Jl. Bakaran Batu) bebannya adalah yang paling besar.

4.3 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah

a. Trafo distribusi 250 kVA di Jl. Medan-L.Pakam SP.DLLAJ

- Siang hari:

$$I_N = 54 \text{ A}$$

$$R_N = 0,55 \Omega$$

$$I_G = 32,8 \text{ A}$$

$$R_G = 3,7 \Omega$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,55$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

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

$$= (54)^2 \text{A} \cdot 0,55 \Omega$$

$$= 1603,8 \text{ Watt} = 1,6038 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$P = S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,55$$

$$P = 250 \text{ kVA} \cdot 0,55 = 137,5 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{1,6038 \text{ kW}}{137,5 \text{ kW}} \times 100\% = 1,16\%$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$= (32,8)^2 \text{ A} \cdot 3,7 \Omega$$

$$= 3980,680 \text{ watt} = 3,9806 \text{ kW}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{3,9806 \text{ kW}}{137,5 \text{ kW}} = 2,89\%$$

- Malam hari:

$$I_N = 156 \text{ A}$$

$$R_N = 10 \Omega$$

$$I_G = 81,5 \text{ A}$$

$$R_G = 3,7 \Omega$$

$$\cos \varphi = 0,62$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (156)^2 \text{A} \cdot 0,55 \Omega \\ &= 13384,8 \text{ watt} = 13,3848 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$\begin{aligned} P &= S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,62 \\ P &= 250 \text{ kVA} \cdot 0,62 = 155 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{13,3848 \text{ kW}}{155 \text{ kW}} \times 100\% = 8,63\% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (81,5)^2 \text{ A} \cdot 3,7 \Omega \\ &= 24576 \text{ watt} = 24,576 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{24,576 \text{ kW}}{155 \text{ kW}} = 15,86\% \end{aligned}$$

- b. Trafo distribusi 250 kV Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat

- Siang hari:

$$I_N = 44 \text{ A}$$

$$R_N = 0,55 \Omega$$

$$I_G = 20,5 \text{ A}$$

$$R_G = 4,3 \Omega$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,89$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (44)^2 \text{ A} \cdot 0,55 \Omega \\ &= 1064,8 \text{ Watt} = 1,0648 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$P = S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,89$$

$$P = 250 \text{ kVA} \cdot 0,89 = 222,5 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{1,0648 \text{ kW}}{222,5 \text{ kW}} \times 100\% = 0,47\% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (20,5)^2 \text{ A} \cdot 4,3 \Omega \\ &= 1807,1 \text{ watt} = 1,8071 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{1,8071 \text{ kW}}{222,5 \text{ kW}} = 0,812 \% \end{aligned}$$

- Malam hari:

$$I_N = 40 \text{ A}$$

$$R_N = 0,55 \Omega$$

$$I_G = 21,6 \text{ A}$$

$$R_G = 4,3 \Omega$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,62$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (40)^2 \text{ A} \cdot 0,55 \Omega \\ &= 880 \text{ watt} = 0,88 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$P = S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,62$$

$$P = 250 \text{ kVA} \cdot 0,91 = 227,5 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{0,88 \text{ kW}}{227,5 \text{ kW}} \times 100\% = 0,003 \% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (21,6)^2 \text{ A} \cdot 4,3 \Omega \\ &= 2006,2 \text{ watt} = 2,0062 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{2,0062 \text{ kW}}{227,5 \text{ kW}} = 0,882\% \end{aligned}$$

c. Trafo distribusi 100 kVA di Jl. Pendidikan

- Siang hari:

$$\begin{aligned} I_N &= 44 \text{ A} \\ R_N &= 0,796 \Omega \\ I_G &= 23,2 \text{ A} \\ R_G &= 3,5 \Omega \\ \text{Cos } \varphi &= 0,87 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (44)^2 \text{ A} \cdot 0,796 \Omega \\ &= 1541,056 \text{ Watt} = 1,541056 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$\begin{aligned} P &= S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,87 \\ P &= 100 \text{ kVA} \cdot 0,87 = 87 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{1,541056 \text{ kW}}{87 \text{ kW}} \times 100\% = 1,77\% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (23,2)^2 \text{ A} \cdot 3,5 \Omega \\ &= 1883,8 \text{ watt} = 1,8838 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{1,8838 \text{ kW}}{87 \text{ kW}} = 2,165\% \end{aligned}$$

- Malam hari:

$$I_N = 83 \text{ A}$$

$$R_N = 0,796 \Omega$$

$$I_G = 45,4 \text{ A}$$

$$R_G = 3,5 \Omega$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,69$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (83)^2 \text{ A} \cdot 0,796 \Omega \end{aligned}$$

$$= 5483,644 \text{ watt} = 5,483644 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$P = S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,69$$

$$P = 100 \text{ kVA} \cdot 0,69 = 69 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{5,483644 \text{ kW}}{69 \text{ kW}} \times 100\% = 7,95 \% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (45,4)^2 \text{ A} \cdot 3,5 \Omega \\ &= 7214 \text{ watt} = 7,214 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{7,214 \text{ kW}}{69 \text{ kW}} = 10,45 \% \end{aligned}$$

d. Trafo distribusi 200 kVA di Jl. Bakaran Batu

- Siang hari:

$$I_N = 40 \text{ A}$$

$$R_N = 0,55 \Omega$$

$$I_G = 18,5 \text{ A}$$

$$R_G = 3,8 \Omega$$

$$\cos \varphi = 0,63$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (40)^2 \text{A} \cdot 0,55 \Omega \\ &= 880 \text{ Watt} = 0,88 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$\begin{aligned} P &= S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,63 \\ P &= 200 \text{ kVA} \cdot 0,63 = 126 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{0,88 \text{ kW}}{126 \text{ kW}} \times 100\% = 0,69 \% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (18,5)^2 \text{ A} \cdot 3,8 \Omega \\ &= 1300 \text{ watt} = 1,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{1,3 \text{ kW}}{126 \text{ kW}} = 1,03 \% \end{aligned}$$

- Malam hari:

$$I_N = 95 \text{ A}$$

$$R_N = 0,55 \Omega$$

$$I_G = 41,7 \text{ A}$$

$$R_G = 3,8 \Omega$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,57$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= (95)^2 \text{ A} \cdot 0,55 \Omega \\ &= 4963,75 \text{ watt} = 4,96375 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral yang pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P):

$$P = S \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,57$$

$$P = 200 \text{ kVA} \cdot 0,57 = 114 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{4,96375 \text{ kW}}{114 \text{ kW}} \times 100\% = 4,35 \% \end{aligned}$$

Sedangkan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (2.15) yaitu:

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (41,7)^2 \text{ A} \cdot 3,8 \Omega \\ &= 6607 \text{ watt} = 6,607 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase losses adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{6,607 \text{ kW}}{114 \text{ kW}} = 5,79 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Losses pada trafo distribusi

Lokasi Trafo	Waktu	Ketidak-seimbangan Beban (%)	I _N (A)	I _G (A)	P _N (kW)	P _N (%)	P _G (kW)	P _G (%)
Jl. Medan-L.Pakam	Siang	8,33	54	33,8	16,038	1,16	3,98	2,89
	Malam	11,6	156	81,5	13,38	8,63	24,58	15,86
Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat	Siang	8,33	44	20,5	1,07	0,47	1,81	0,81
	Malam	0,66	40	21,6	0,88	0,003	2,01	0,88
Jl. Pendidikan	Siang	16	44	23,2	1,54	1,77	1,88	2,17
	Malam	15	83	45,4	5,48	7,95	7,22	10,45
Jl. Bakaran Batu	Siang	3,33	40	18,5	0,88	0,69	1,3	1,03
	Malam	20	95	4,96	4,96	4,35	6,61	5,79

Pada table 4.3 terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (I_N) dan arus netral yang mengalir ke tanah (I_G), semakin besar pula losses pada penghantar netral trafo (P_N) dan juga losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Persentase ketidakseimbangan beban paling tinggi terjadi pada trafo yang berlokasi Jl. Pendidikan yaitu pada siang hari 16% dan malam hari 15% kemudian yang paling rendah terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat yaitu pada siang hari 8,33% dan malam hari 0,66%.
2. Arus netral trafo (I_N) yang paling tinggi terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Medan-L. Pakam yaitu pada siang hari 54 A dan malam hari 156 A kemudian yang paling rendah terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat yaitu pada siang hari 44 A dan malam hari 40 A.
3. Arus netral yang mengalir ke tanah (I_G) paling tinggi terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Medan-L. Pakam yaitu pada siang hari 33,8 A dan malam hari 81,5 A kemudian yang paling rendah terjadi pada trafo yang

berlokasi di Jl. Bakaran Batu yaitu pada siang hari 18,5 A dan malam hari 4,96 A.

4. Persentase losses pada penghantar netral trafo (P_N) paling tinggi terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Medan-L. Pakam yaitu pada siang hari 1,16% dan malam hari 8,63% kemudian yang paling rendah terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat yaitu pada siang hari 0,47% dan malam hari 0,003%.
5. Persentase losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G) paling tinggi terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Medan-L. Pakam yaitu pada siang hari 2,89% dan malam hari 15,86% kemudian yang paling rendah terjadi pada trafo yang berlokasi di Jl. Batang Kuis DP. Pabrik Sahabat yaitu pada siang hari 0,81% dan malam hari 0,88%.

5.2 Saran

Ada saran dari penulis, yaitu:

1. Pada pembebanan transformator, sebaiknya dilakukan usaha-usaha untuk menyeimbangkan pembebanan transformator. Penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan membuat arus ketiga penghantar fasanya seimbang dan penghantar arusnya

DAFTAR PUSTAKA

- Burke, James J, "*Power Distribution Engineering – Fundamentals and Applications*", New York : Marcel Dekker Inc., 1994.
- Gönen, Turan, "*Electric Power Distribution System Engineering*", Singapore : McGraw – Hill Inc., 1986
- Kadir, Abdul, "*Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*", Jakarta : UI – Press, 2000
Kadir, Abdul, "*Transformator*", Jakarta : PT. Elex Media Komputindo, 1989
- Moelyono, Nono, Ir., "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*", Surabaya : ITS, 1991
Theraja, B.L, "*A Text-Book Of Electrical Technology*", Nurja Construction & Development, New Delhi, 1989.
- Wijaya, Mochtar, "*Dasar-Dasar Mesin Listrik*", Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001.
Zuhail, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", Edisi ke-5, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**“Studi Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan
Losses Pada Trafo Distribusi PLN Ranting Lubuk Pakam”.**

*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

**MUHAMMAD YUSUF
NPM : 1207220095**

Telah Diuji dan Disahkan Pada Tanggal
29 April 2017

Pembimbing I

(Rohana,S.T.,M.T.)

Pemanding I

(-----)

Pembimbing II

(M. Syafril,S.T.,M.T.)

Pemanding II

(-----)

Diketahui dan Disahkan
Program Studi Teknik Elektro
Ketua,

(Rohana,S.T.,M.T.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Yusuf
NPM : 1207220095
Tempat / Tgl Lahir : Medan / 25 Oktober 1994
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul :

“Studi Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi PLN Ranting Lubuk Pakam”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 Maret 2016
Saya yang menyatakan

(MUHAMMAD YUSUF)

