

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI (*LOSSES*)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUSTAQIM ARIEF TARIGAN
NPM:1207220009



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp.(061) 6623301
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : MUSTAQIM ARIEF TARIGAN

NPM : 1207220009

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator
Distribusi Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi (*Losses*)

Bidang Ilmu : Tenaga Listrik dan Teknik Tegangan Tinggi.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 01 Oktober 2019

Pembimbing I

Rohana, ST.,MT

Pembimbing II

Ir. Zul Arsil Siregar

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

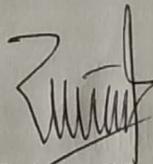
Nama : Mustaqim Arief Tarigan
NPM : 1207220009
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi (*Losses*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 Oktober 2019

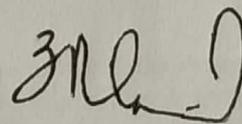
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



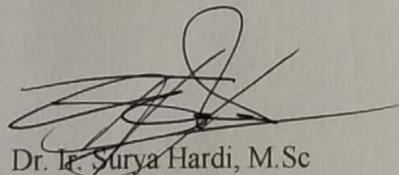
Rohana, ST., MT

Dosen Pembimbing II / Penguji



Ir. Zul Arsil Siregar

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc

Dosen Pembanding II / Penguji



Noorly Evalina, ST., MT



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mustaqim Arief Tarigan

Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 12 Desember 1994

NPM : 1207220009

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi (*Losses*)”

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses 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 menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 Oktober 2019

Saya yang menyatakan,



Mustaqim Arief Tarigan

KATA PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya tulis ini, untuk yang selalu menanyakan:

“ kapan skripsi-mu selesai ?”

“Skripsi ? Suatu pertanya-an yang membuat ideologi tertekan. Terkadang cepat tamat atau lama tamat itu bukan faktor kesuksesan, melainkan faktor individualis mahasiswa-nya, bagaimana mengimplentasikan ilmu yang telah didapat dibangku perkuliahan dan sekretariat kelembagaan mahasiswa untuk aspek kehidupan masyarakat ke depan-nya. Karna ijazah hanyalah selembar kertas yang berisikan angka dan huruf. Alangkah kerdilnya menilai kepintaran (**IQ**) seseorang dari sebuah **SKRIPSI**, bukankah skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai.”

ABSTRAK

Setiap sistem distribusi tenaga listrik selalu mengalami ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban ini biasanya terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik yang menggunakan jaringan listrik tegangan rendah. Hal ini disebabkan karena waktu penyalaan beban-beban yang tidak serempak oleh pelanggan (*konsumen*) tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban disetiap fasa (R,S,T) mengakibatkan arus mengalir di penghantar netral transformator. Arus yang mengalir di penghantar netral transformator ini mengakibatkan rugi-rugi (*losses*) yang akan merugikan PLN sebagai penyuplai tenaga listrik.

Dari hasil pengamatan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban disetiap fasa (R,S,T) maka semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral transformator sehingga rugi-rugi (*losses*) pada transformator akan meningkat.

Kata kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral Dan Rugi-Rugi

ABSTRACT

Each electrical power distribution system to experience unbalanced load. Usually this happen on electrical power distribution system to apply electrical circuitry low voltage. That is caused of the time of consumption electrical loads by electrical power consumer not suddenly. The effect of unbalanced load on each phase (R,S,T) caused electrical current flow on neutral transformer. The current flow on neutral transformer caused power losses to inflict losses a supplier of electrical power that is PLN.

From result observation, to concluded that the more large unbalanced load each phase (R,S,T) the more large electrical current that flow on electrical on neutral transformer so that losses on transformer will be increased.

Keywords : Load Imbalance, Neutral Current and Losses

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa. Dia yang menurunkan Al-quran sebagai petunjuk dan pedoman hidup bagi umat manusia di dunia ini. Menjadikan Alquran sebagai sumber ilmu pengetahuan dan Norma – norma kehidupan.

Sholawat serta salam selalu terkumandang untuk utusannya tercinta manusia yang lembut laksana air dan perkasa laksana ombak. Dia yang mencintai ummatnya lebih dari dirinya dan keluarganya, Dia yang bermukjizatkan Alquran dan Akhlaknya dialah Muhammad SAW.

Dengan perjuangan yang berat dan perilaku akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “(*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi (Losses)*)”.

Dalam penyusunan Skripsi penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulisan dengan setulus hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa buat Ayahanda Edi Samsul dan Ibunda Sulastri yang telah banyak memberikan pengorbanan demi cita-cita bagi kehidupan penulis, serta doa dan dorongan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T, M.T, sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rohana, S.T, M.T, sebagai Dosen Pembimbing 1
6. Bapak Ir. Zul Arsil Siregar, sebagai Dosen Pembimbing 2
7. Seluruh staf pengajar dan pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa periode 2015 - 2016 yang membantu saya dengan tulus dalam penulisan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan Ikatan Mahasiswa Elektro, Himpunan Mahasiswa Sipil, dan Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai tempat atau wadah bagi saya mengenal dunia organisasi.
10. Saudara Seperjuangan Pejuang Senyum 012 yang menjadi kawan berjuang saya di fakultas teknik UMSU.
11. Adinda Sektor 013 Dan adinda 014,015,016,017 yang sering membantu saya dan membuat tertawa dalam pengerjaan disaat kebuntuan datang.
12. Teruntuk adinda Tamsil Hasan Nasution dan M. Heru Septian yang telah begitu banyak membantu saya dalam pengerjaan skripsi ini dan sekaligus menjadi teman saat ini untuk berdiskusi dan tempat minta saran tentang pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Tuhan Yang Maha Esa penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, 01 Oktober 2019
Penulis

Mustaqim Arief Tarigan
1207220009

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Transformator.....	8
2.2.1 Prinsip Kerja Transformator	9
2.2.2 Keadaan Transformator Tanpa Beban	11
2.2.3 Keadaan Transformator Berbeban	13
2.2.4 Jenis Transformator.....	14
2.2.5 Rugi-Rugi Pada Transformator	15
2.2.6 Efisiensi Transformator.....	17
2.2.7 Transformator Tiga Fase	17
2.3 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	24
2.3.1 Distribusi Primer	26

2.3.2 Distribusi Sekunder	29
2.3.3 Rak Tegangan Rendah	30
2.3.4 Komponen Jaringan Tegangan Rendah	31
2.3.5 Sistem Tenaga Listrik Tiga Phasa.....	31
2.3.6 Transformator Distribusi.....	36
2.3.7 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator	36
2.3.8 Rugi-Rugi (<i>losses</i>) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator.....	37
2.3.9 Ketidak Seimbangan Beban	38
2.3.10 Penyaluran Dan Susut Daya Pada Transformator	38

BAB 3 PENGUKURAN DAN DATA TEKNIS TRAF0

3.1 Data Teknik Transformator Distribusi	40
3.2 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi	42
3.3 Data Tahanan Kawat Penghantar Netral Transformator Distribusi	44
3.4 Rangkaian Pengukuran Pembebanan Tranformasi Distribusi.....	45

BAB 4 ANALISA DATA

4.1 Menentuka Persentase Pembebanan Transformator	46
4.2 Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator	54
4.3 Analisis Rugi-Rugi (<i>losses</i>) Akibar Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator.....	60
4.4 Analisis Energi Yang Hilang (kWH) Akibat Arus Yang Mengalir Pada Pengantar Netral Transformator	68

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA
DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arus Bolak-Balik Mengelilingi Inti Besi	10
Gambar 2.2 Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban	11
Gambar 2.3 Transformator Dalam Keadaan Berbeban	13
Gambar 2.4 Diagram Rugi-Rugi Pada Transformator	17
Gambar 2.5 Hubungan Bintang (Y)	18
Gambar 2.6 Hubungan Delta (Δ)	19
Gambar 2.7 Hubungan Zig-Zag	20
Gambar 2.8 Transformator Hubungan Y-Y	21
Gambar 2.9 Transformator Hubungan Y- Δ	22
Gambar 2.10 Transformator Hubungan Δ -Y	23
Gambar 2.11 Transformator Hubungan Δ - Δ	24
Gambar 2.12 Skema Sistem Tenaga Listrik	25
Gambar 2.13 Sistem Radial	26
Gambar 2.14 Sistem Loop Terbuka (<i>Open-Loop</i>)	27
Gambar 2.15 Sistem Loop Tertutup (<i>Close-Loop</i>)	27
Gambar 2.16 Sistem Spindel	28
Gambar 2.17 Sistem Cluster	28
Gambar 2.18 Sistem Tiga Fasa Sebagai Sistem Fasa Tunggal	32
Gambar 2.19 Bentuk Gelombang Pada Sistem Tiga Fasa	32
Gambar 2.20 Sistem Y Dan Sistem Δ	33
Gambar 2.21 Beban Tidak Seimbang Terhubung Delta	35
Gambar 2.22 Beban Tidak Seimbang Terhubung Bintang Empat Kawat	35
Gambar 2.23 Vektor Diagram Arus	38
Gambar 3.1 Rangkaian Pengukuran Pembebanan Transformator Distribusi Dengan Menggunakan <i>Power Quality Analyzer Fluke 435</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik twisted kabel aluminium NFA2X	30
Tabel 3.1 Data pembebanan trafo distribusi 100 kva di Jl. Paku T600 Marelan	42
Tabel 3.2 Data pembebanan trafo distribusi 100 kva di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan	42
Tabel 3.3 Data pembebanan trafo distribusi 160 kva di Jl. Raskam T600.....	43
Tabel 3.4 Data pembebanan trafo distribusi 200 kva di Jl. Pasar 2 Timur Marelan	43
Tabel 3.5 Data pembebanan trafo distribusi 200 kva di Jl. Pasar 2 Barat Marelan	44
Tabel 4.1 Rangkuman analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi (losses) pada transformator	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data Spesifikasi Standard SPLN:50 1997

Lampiran 2 : Data Teknis Transformator Distribusi

Lampiran 3 : Data Pembebanan Trafo Menurut IEC

Lampiran 4 : Gambar Transformator Distribusi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan di Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang, salah satunya adalah pembangunan di sektor industri. Hal ini merupakan langkah penting yang harus ditempuh dalam menghadapi era globalisasi. Dalam era globalisasi ini bangsa Indonesia dituntut untuk dapat bersaing dengan bangsa lain, termasuk bersaing dalam bidang industri yang pada akhirnya akan meningkatkan devisa negara. Peningkatan di sektor industri ini menuntut adanya kesiapan sumber daya yang memadai, baik dari teknologi maupun sumber daya alam sehingga dapat berjalan dengan baik dan berkesinambungan.

Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana 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 lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan berkesinambungan merupakan salah satu syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam mencapai tujuan pembangunan tersebut.

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut PT. PLN (Persero) selaku perusahaan penyedia listrik di Indonesia, dapat memenuhi ketersediaan tenaga listrik di Indonesia. Permasalahan utama yang dihadapi oleh PT. PLN (Persero) adalah mulai terjadinya krisis energi yang mengglobal. Dimana bahan bakar minyak ditingkat internasional terus meningkat. Hal ini menyebabkan PT. PLN (Persero) harus melakukan efisiensi di segala sektor. Salah satu langkah efisiensi yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) adalah menekan *losses* seminimal mungkin, baik *losses* secara teknis maupun non teknis

agar dapat memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik.

Namun dalam pemenuhan kebutuhan listrik tersebut, sering terjadi pembagian beban yang tidak merata/seimbang. Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yang akan merugikan PT. PLN (Persero). Agar tercapai penyuplaian listrik yang stabil dan kontinuitas kepada konsumen, maka hal tersebut harus dapat diatasi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besar pembebanan pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
2. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
3. Menganalisis energi yang hilang (kWH) pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.

1.3 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini dapat diketahui tentang pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral serta rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi, energi yang hilang (kWH) pada transformator distribusi dan hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi yang penting bagi PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan untuk dapat mengantisipasi kerugian tersebut.

1.4 Batasan Masalah

1. Analisis yang dilakukan pada pengukuran pembebanan transformator, ketidakseimbangan beban transformator, arus netral, rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi.
2. Analisis energi yang hilang (kWH) akibat arus yang mengalir pada penghantar netral transformator distribusi.
3. Penelitian data trafo berlangsung dari bulan januari sampai bulan juli di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
4. Data teknis transformator distribusi 100 kVA, 160 kVA sampai 200

kVA.

1.5 Metode Penelitian

Metode penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Metode ini dilaksanakan dengan mencari dan mengumpulkan data dari jurnal yang sudah dipublikasikan, buku, website, dan data dari PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.

2. Studi Bimbingan

Diskusi dengan dosen pembimbing atau pun pegawai PLN serta teman-teman sesama mahasiswa mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan tugas akhir.

3. Studi Lapangan

Data yang diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada transformator distribusi dan mencatat data yang diperlukan di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.

4. Metode data

Data yang diperoleh dianalisis sehingga diperoleh pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman terhadap Tugas Akhir ini maka penulis menyusun sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisikan tentang latar belakang, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang Transformator yaitu prinsip kerja

transformator, keadaan transformator tanpa beban, keadaan transformator berbeban, jenis transformator, rugi-rugi pada transformator, efisiensi transformator, transformator tiga fasa, teori tentang jaringan distribusi tenaga listrik yaitu distribusi primer, distribusi sekunder, rak tegangan rendah, komponen jaringan tegangan rendah, sistem tenaga listrik tiga fasa, transformator distribusi, perhitungan arus beban penuh transformator, rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator, ketidakseimbangan beban serta penyaluran dan susut daya pada transformator.

BAB 3 : PENGUKURAN DAN DATA TEKNIS TRAFO

Bab ini berisi tentang data teknis transformator distribusi yang diukur, data pengukuran pembebanan transformator, data tahanan kawat penghantar netral transformator dan rangkaian pengukuran pembebanan transformator.

BAB 4 : ANALISIS PERFORMA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Bab ini membahas tentang pengolahan data yaitu analisis arus beban penuh (*full load*) transformator, analisis pembebanan pada transformator, analisis ketidakseimbangan beban, analisis rugi-rugi (*losses*) pada transformator dan analisis yang hilang (kWH) pada transformator distribusi.

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis data tugas akhir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

(Julius Sentosa Setiadji, 2006). Dalam jurnalnya yang berjudul *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*. 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%). [1]

(Iskandar Zulkarnain, 2009). Dalam jurnalnya yang berjudul *Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral, Rugi-Rugi Dan Penurunan Kapasitas Pada Transformator Distribusi*. Dengan kemajuan teknologi informasi maka komputer dan printer semakin banyak digunakan di rumah tinggal. Di sisi lain, krisis energi menjadi pemicu meningkatnya penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE). Komputer, printer & LHE merupakan beban non linier yang menjadi penyebab munculnya harmonisa yang dapat mengganggu sistem distribusi listrik termasuk Trafo distribusi. Dengan melakukan pengukuran di trafo distribusi maka dapat diketahui bahwa pada trafo distribusi timbul arus harmonisa yang dapat meningkatkan rugi-rugi pada trafo distribusi sehingga hal ini dapat berdampak pada penurunan kapasitas trafo (derating transformator). Seberapa level harmonik yang diijinkan menjadi penting untuk diketahui, sehingga transformator distribusi bisa awet tanpa harus banyak

menambah komponen penapis tambahan. Berdasarkan hasil pengukuran dan proses analisis menunjukkan THD arus di Transformator Teknik Kimia, Teknik Sipil, Teknik Elektro, dan Teknik Mesin pada waktu -waktu tertentu ada yang melebihi standar. Sedangkan untuk THD tegangannya tidak ada yang melebihi standar. Selain itu menunjukkan bahwa Semakin besar THD arus yang terkandung pada transformator, maka penambahan rugi-rugi transformator akan semakin besar, dan derating transformator akan semakin tinggi. Sedangkan besar arus netralnya tergantung dari besar komponen harmonisa ganjil kelipatan 3, dimana menunjukkan bahwa harmonisa memberikan penambahan yang cukup besar terhadap besar arus netral. [2]

(Edy Julianto, 2016) Dalam jurnalnya yang berjudul *Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Cabang Pontianak*. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik terjadi diakibatkan oleh ketidakseimbangan pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut adalah munculnya arus di netral transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Metode penelitian ini dilakukan dengan pengukuran langsung ke lapangan dengan menggunakan Power Harmonic Analyzer Fluke 41 B yang dilakukan pada saat beban puncak yaitu dari jam 7 malam sampai jam 12 malam, selanjutnya dari data yang diperlukan diolah dengan menggunakan perhitungan losses (rugi-rugi) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jika terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga semakin besar, akibatnya losses yang terjadi akan semakin besar. [3]

(Markus Dwiyanto Tobi Sogen, 2018). Dalam jurnalnya yang berjudul *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di PT PLN (Persero) Area Sorong*. PT PLN (Persero) Area Sorong adalah perusahaan yang bertugas melistriki wilayah kota

sorong dan sekitarnya. 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 timbullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (susut), yaitu susut akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Maka dari itu dibuatlah sebuah analisa dengan menggunakan metode perbandingan dengan cara pengukuran beban pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban dan dibandingkan dengan pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban. Penyeimbangan beban ini dilakukan dengan cara memindahkan sebagian beban di fasa yang berbeban tinggi ke fasa yang berbeban lebih rendah sehingga dihasilkan beban fasa yang seimbang. Hasil analisa menunjukkan bahwa pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban, nilai arus netral di penghantar netral trafo dan arus netral yang mengalir ke ground lebih kecil sehingga susut yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban. [4]

(Hamles Leonardo Latupeirissa, 2017). Dalam jurnalnya yang berjudul *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu KP-01 Desa Hative Kecil*. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa di pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses*, yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Penambahan beban pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil dalam kurun waktu tahun 2014 sampai dengan 2015 yang signifikan tanpa memperhitungkan pembagian beban trafo, dampaknya begitu terasa bagi konsumen, sehingga terjadinya kerugian tegangan maupun daya yang sangat besar. Data hasil pengukuran siang hari maupun malam hari (beban puncak) yang dilakukan pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil, terlihat bahwa tegangan (V) dan arus (I), serta hasil perhitungan daya semu

(S) tidak sama besar pada setiap fasa (R,S dan T). Berdasarkan hasil analisa, bahwa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* daya pada trafo distribusi gardu kp-01 desa hative kecil diperoleh (i) *losses* (rugi) daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P_N) pada siang hari sebesar 5,52 % dan pada malam hari sebesar 7,12 %. (ii) *losses* (rugi) daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G) pada siang hari sebesar 9,36 % dan pada malam hari sebesar 12,71 %. [5]

2.2 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat memindahkan dan mengubah tegangan dan arus bolak-balik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai yang sama maupun berbeda besarnya pada frekuensi yang sama, melalui gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator 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 kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga atau aluminium yang dililitkan pada kaki inti transformator.

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 pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan handal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya pada penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak digunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik terjadi kerugian energi sebesar $I^2 \cdot R$ watt. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan setinggi mungkin.

Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi, dengan cara mempergunakan

transformator untuk menaikkan tegangan listrik di pusat pembangkit dari tegangan generator yang biasanya sebesar 6 kV – 20 kV pada awal transmisi ke tegangan saluran transmisi antara 150 kV – 500 kV, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran ke tegangan yang lebih rendah.

Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga. Di samping itu ada jenis-jenis transformator lain yang banyak dipergunakan dan pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai di rumah tangga untuk menyesuaikan tegangan dari lemari es dengan tegangan yang berasal dari jaringan listrik umum, transformator yang dipakai pada lampu TL dan transformator-transformator “mini” yang digunakan pada berbagai alat elektronika, seperti penerima radio, televisi dan sebagainya.

Dalam bidang tenaga listrik pada umumnya pemakai transformator dapat dikelompokkan dalam :

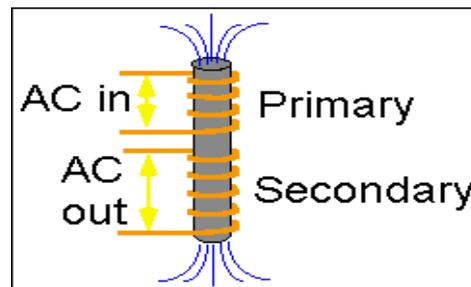
1. Transformator daya, transformator ini biasanya digunakan di pembangkit tenaga listrik, untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
2. Transformator distribusi, transformator ini pada umumnya digunakan pada sub distribusi tenaga listrik, yaitu untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
3. Transformator *instrument*, transformator ini gunanya digunakan sebagai alat instrument pengukuran yang terdiri dari transformator arus (*current transformer*) dan transformator tegangan (*potential transformer*).

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah.

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer.

Akibatnya adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).



Gambar 2.1 Arus bolak balik mengelilingi inti besi

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

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

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{- N_1 \frac{d\phi}{dt}}{- N_2 \frac{d\phi}{dt}}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.1}$$

Dengan :

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)

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 kumparan primer sama dengan daya diterima oleh kumparan sekunder.

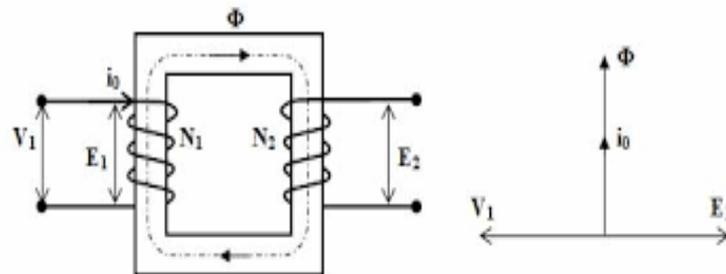
$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad (2.2)$$

2.2.2 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Arus primer I_0 menimbulkan fluks (ϕ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal. Fluks bolak-balik ini akan memotong kumparan primer dan kumparan sekunder dan harganya naik turun dalam arah bolak-balik sehingga menginduksikan ggl pada kedua lilitan tersebut. Ggl yang diinduksikan dalam kumparan primer akan melawan tegangan V_1 yang dikenakan.



Gambar 2.2 Transformator dalam keadaan tanpa beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal dan kumparan sekundernya merupakan rangkaian yang tidak dibebani (*no load*), maka akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal

90° dari V_1 (Gambar 2.6b). Arus primer I_o menimbulkan fluks (ϕ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal.

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \quad (2.3)$$

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (Hukum Faraday)

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.4)$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t \quad (2.5)$$

Pada kondisi maksimum $e_{1 \max} = N_1 \omega \Phi_{\max}$, dimana $\omega = 2\pi f$, sehingga harga efektifnya :

$$E_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \Phi_{\max} \quad (2.6)$$

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama tadi menimbulkan :

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

$$e_2 = N_2 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f \Phi_{\max} \quad (2.7)$$

Sehingga :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.8)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (2.9)$$

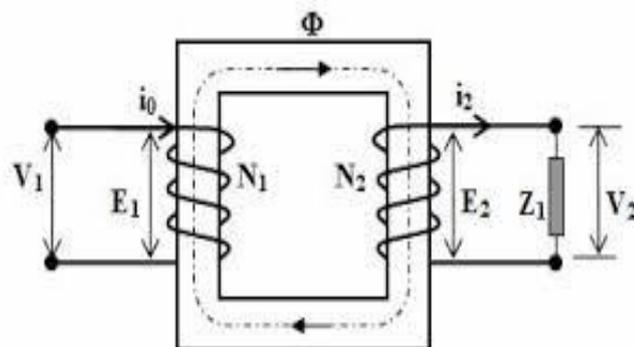
k = perbandingan transformasi

Apabila $k < 1$, maka transformator berfungsi untuk kenaikan (*step up transformer*), $k > 1$, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (*step down transformer*).

Dalam hal ini tegangan E_1 mempunyai besaran yang sama tetapi berlawanan arah tegangan sumber V_1 .

2.2.3 Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , maka I_2 akan mengalir pada kumparan sekunder, dimana : $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$



Gambar 2.3 Transformator dalam keadaan berbeban

Arus beban ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus \dot{I}_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + \dot{I}_2' \quad (2.10)$$

Bila arus besi diabaikan maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I_2' \quad (2.11)$$

Untuk menjaga agar fluks tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M , maka berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \quad (2.12)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2') - N_2 I_2 \quad (2.13)$$

Sehingga

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \quad (2.13)$$

Karena nilai I_M dianggap kecil maka $I_2' = I_1$, jadi :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (2.14)$$

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 \quad (2.16)$$

2.2.4 Jenis Transformator

Menurut pasangan lilitannya, trafo dibedakan atas :

1. Trafo 1 belitan
2. Trafo 2 belitan
3. Trafo 3 belitan

Pada trafo 1 belitan, lilitan primer merupakan bagian dari lilitan sekundernya atau sebaliknya. Trafo 1 belitan ini sering dikenal sebagai autotrafo. Trafo 2 belitan mempunyai dua belitan, yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana primer dan sekunder berdiri sendiri. Sedangkan trafo 3 belitan memiliki belitan primer, sekunder, dan tertier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

Berdasarkan fungsinya, trafo dibedakan atas :

1. Trafo daya
2. Trafo distribusi
3. Trafo pengukuran

Berdasarkan jumlah fasa, trafo dibedakan atas :

1. Trafo 1 phasa
2. Trafo 3 phasa

Berdasarkan konstruksinya, trafo dibedakan atas

1. Trafo tipe inti
2. Trafo tipe cangkang

2.2.5 Rugi-rugi Pada Transformator

Rugi-rugi pada transformator ada dua macam, yaitu rugi tembaga (P_t) dan rugi besi (P_i). Dimana rugi besi terdiri atas rugi *Hysteresis* dan rugi *Eddy current*.

2.2.5.1 Rugi Tembaga (P_{cu})

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

$$P_{cu} = I^2R \quad (2.17)$$

Dengan :

P_{cu} = rugi tembaga (watt)

I = arus beban yang mengalir pada kawat tembaga (ampere)

R = tahanan kawat tembaga (ohm)

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

2.2.5.2 Rugi Besi (P_i)

Rugi inti atau rugi besi pada transformator juga adalah rugi dalam watt. Rugi inti pada transformator terdiri atas dua bagian, yaitu rugi *hysteresis* dan *eddy current*.

1. Rugi *Hysteresis* (P_h)

Rugi hysteresis adalah rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi, yang dinyatakan sebagai :

$$P_h = K_h f B_{\max}^{1.6} \text{ watt} \quad (2.18)$$

Dengan :

P_h = rugi histeresis (watt)

f = frekuensi (Hz)

K_h = konstanta histeresis

B_{\max} = fluks maksimum (weber)

2. Rugi *Eddy Current* (P_e)

Rugi *eddy current* adalah rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi.

Dinyatakan sebagai :

$$P_e = K_e f^2 B_{\max}^2 \quad (2.19)$$

Dengan :

P_e = rugi *eddy current* (watt)

K_e = konstanta *eddy current*

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah :

$$P_i = P_h + P_e \quad (2.20)$$

2.2.6 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya *output* dengan daya *input*. Secara matematis dapat dituliskan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.21)$$

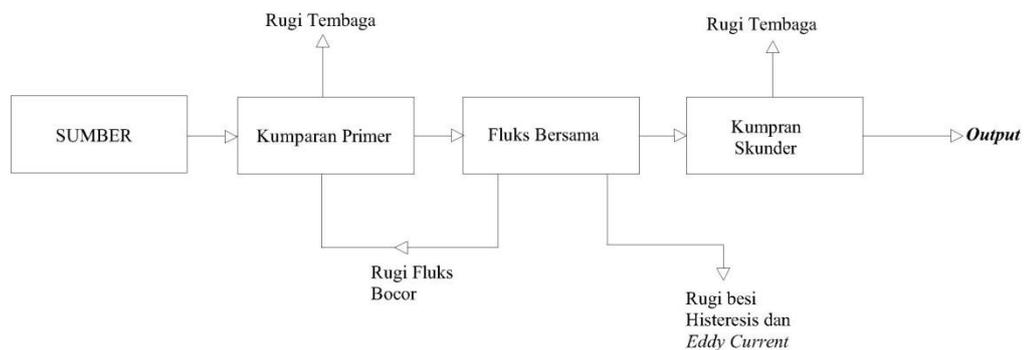
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} \times 100\% \quad (2.22)$$

Dengan :

P_{in} = daya *input* transformator (Watt)

P_{out} = daya *output* transformator (Watt)

$\Sigma \text{rugi} = P_{c_u} + P_i$



Gambar 2.4 Diagram rugi-rugi pada transformator

2.2.7 Transformator Tiga Phasa

Pada prinsipnya transformator tiga phasa sama dengan transformator satu phasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan system listrik satu phasa dengan listrik tiga phasa, yaitu mengenai system bintang (Y) dan segitiga (Δ), serta sistem zig-zag, dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator tiga phasa.

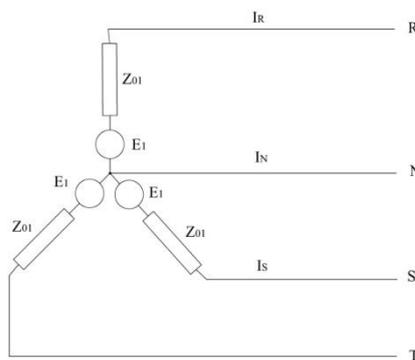
Transformator tiga fasa ini dikembangkan dengan alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah yang sama dengan satu buah transformator daya tiga fasa, lebih ringan dan lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan (menekan biaya pengiriman), serta untuk menangani operasinya hanya satu buah transformator yang perlu mendapat perhatian (meringankan pekerjaan *maintenance*).

2.2.7.1 Hubungan Tiga Fasa Pada Transformator

Secara umum hubungan belitan tiga fasa terbagi atas dua jenis, yaitu hubungan bintang (Y) dan hubungan delta (Δ). Masing-masing hubungan belitan ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda. Baik sisi primer maupun sekunder masing-masing dapat dihubungkan bintang ataupun delta.

2.2.7.1.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang (Y) dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga belitan transformator yang memiliki rating yang sama.



Gambar 2.5 Hubungan bintang (Y)

Dari gambar di atas dapat diketahui sebagai berikut :

$$I_L = I_R = I_S = I_T \text{ (ampere)} \quad (2.23)$$

$$I_L = I_\phi \text{ (ampere)} \quad (2.24)$$

Dengan :

I_L = arus line to line (ampere)

I_ϕ = arus line to netral (ampere)

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L \text{ (volt)} \quad (2.25)$$

$$V_L = \sqrt{3}V_\phi = \sqrt{3}E_1 \text{ (volt)} \quad (2.26)$$

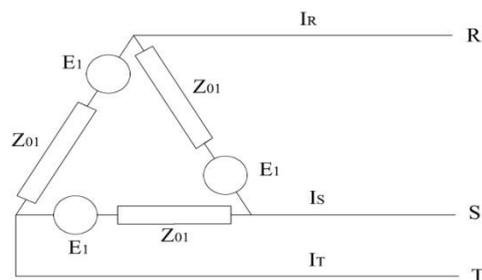
Dengan :

V_L = tegangan line to line (volt)

V_ϕ = tegangan line to netral (volt)

2.2.7.1.2 Hubungan Delta (Δ)

Hubungan delta (Δ) mempunyai tiga buah belitan dan masing-masing memiliki rating yang sama.



Gambar 2.6 Hubungan delta (Δ)

Dari gambar di atas dapat diketahui sebagai berikut :

$$I_R = I_S = I_T = I_L \text{ (ampere)} \quad (2.27)$$

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi \text{ (ampere)} \quad (2.28)$$

Dengan :

I_L = arus line to line (ampere)

I_ϕ = arus line to netral (ampere)

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L \text{ (volt)} \quad (2.29)$$

$$V_L = V_\phi = E_1 \text{ (volt)} \quad (2.30)$$

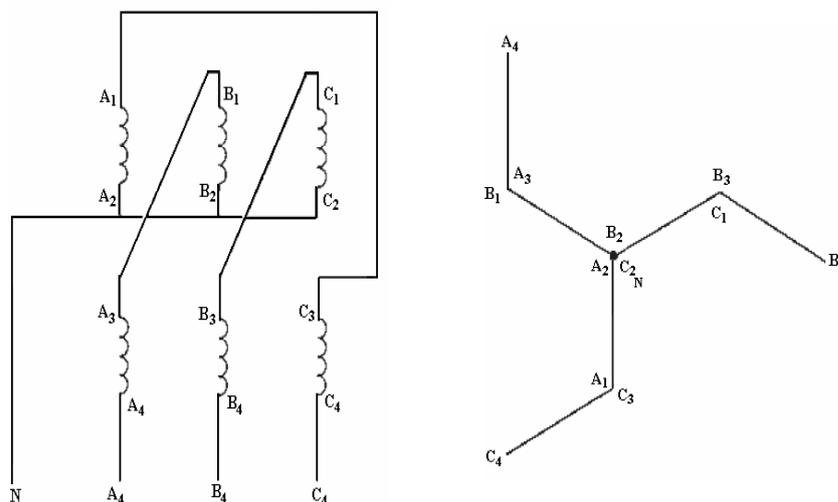
Dengan

V_L = tegangan line to line (volt)

V_ϕ = tegangan line to netral (volt)

2.2.7.1.3 Hubungan Zig-Zag

Hubungan zig-zag memiliki cirri khusus, yaitu belitan primer memiliki tiga belitan, belitan sekunder memiliki enam belitan dan biasa digunakan untuk beban yang tidak seimbang (asimetris) artinya beban antar fasa tidak sama, ada yang lebih besar atau lebih kecil.



Gambar 2.7 Hubungan zig-zag

$$eZ1 = e1 - e2$$

$$eZ2 = e2 - e3$$

$$eZ3 = e3 - e1$$

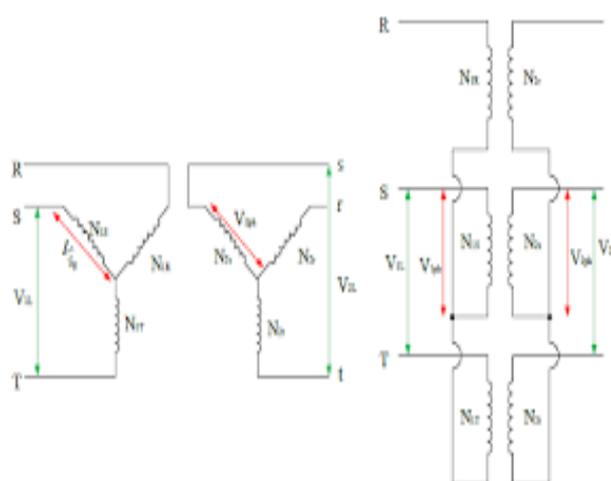
$$eZ1 + eZ2 + eZ3 = 0 = 3 e_b$$

2.2.7.2 Jenis-Jenis Hubungan Belitan Transformator Tiga Fasa

Di dalam pelaksanaannya, tiga buah belitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti hubungan bintang (Y) dan delta (Δ), dengan kombinasi hubungan bintang-bintang (Y-Y), hubungan bintang-delta (Y- Δ), hubungan delta-bintang (Δ -Y) dan hubungan delta-delta (Δ - Δ), bahkan untuk kasus-kasus tertentu belitan sekunder dapat dihubungkan secara berliku (zig-zag) sehingga diperoleh kombinasi Δ -Z dan Y-Z.

2.2.7.2.1 Hubungan Bintang-Bintang (Y-Y)

Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.8 Transformator hubungan Y-Y

Pada hubungan Y-Y, tegangan primer pada masing-masing fasa adalah :

$$V_{1ph} = \frac{V_{1L}}{\sqrt{3}} \quad (2.31)$$

Tegangan fasa primer sebanding dengan tegangan fasa sekunder dan perbandingan belitan transformator. Maka diperoleh perbandingan tegangan pada transformator adalah :

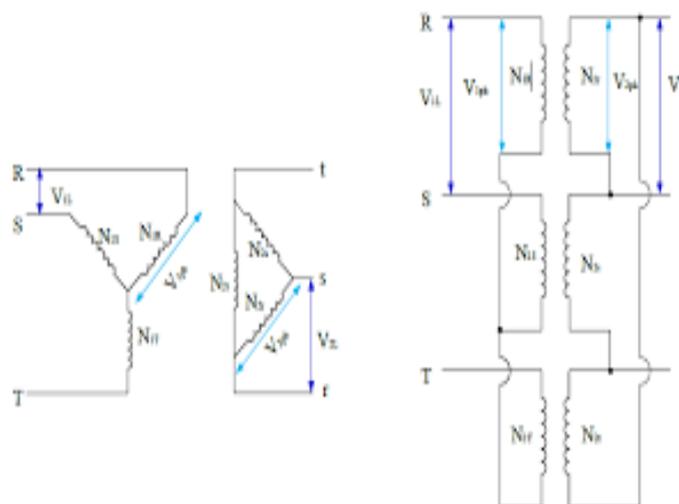
$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3V_{1ph}}}{\sqrt{3V_{2ph}}} = k \quad (2.32)$$

Dengan :

$$k = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}}$$

2.2.7.2.2 Hubungan Bintang-Delta (Y-Δ)

Hubungan (Y-Δ) pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Transformator hubungan Y-Δ

Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer $V_{1L} = \sqrt{3}V_{1ph}$ dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan

tegangan fase $V_{2L} = V_{2ph}$. Sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah sebagai berikut :

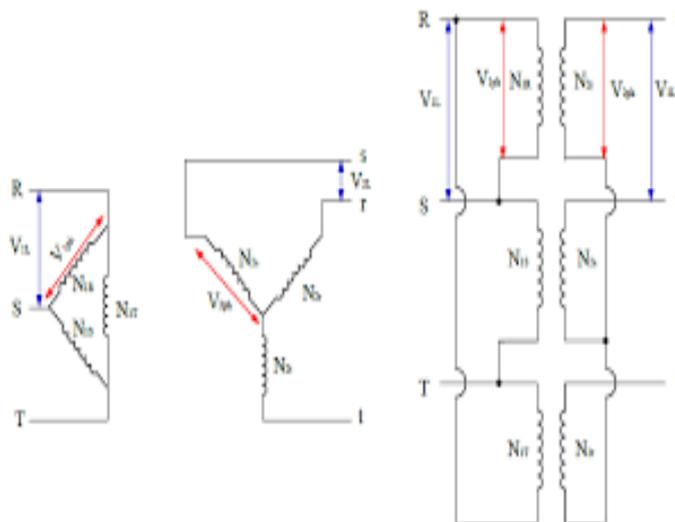
$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}V_{1ph}}{V_{2ph}} = \sqrt{3}k \quad (2.33)$$

Dengan :

$$k = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}}$$

2.2.7.2.3 Hubungan Delta-Bintang (Δ -Y)

Hubungan Δ -Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.10 Transformator hubungan Δ -Y

Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fase primer $V_{1L} = V_{1ph}$ dan tegangan sisi sekunder $V_{2L} = \sqrt{3}V_{2ph}$. Maka perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah :

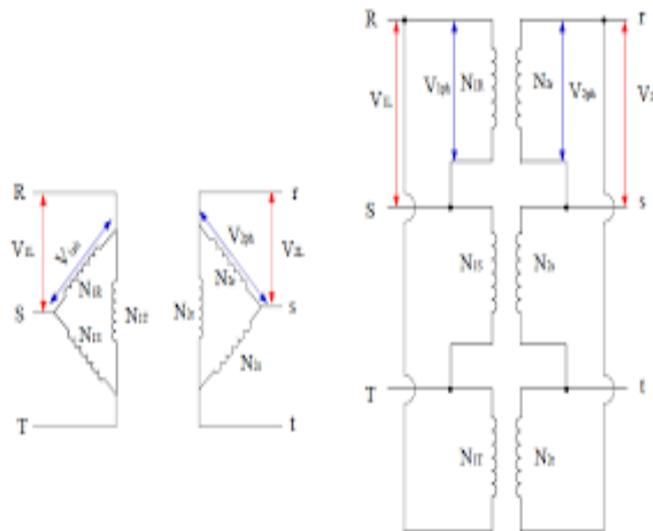
$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1ph}}{\sqrt{3}V_{2ph}} = \frac{k}{\sqrt{3}} \quad (2.34)$$

Dengan :

$$k = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}}$$

2.2.7.2.4 Hubungan Delta-Delta (Δ - Δ)

Hubungan delta-delta Δ - Δ pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11 Transformator hubungan Δ - Δ

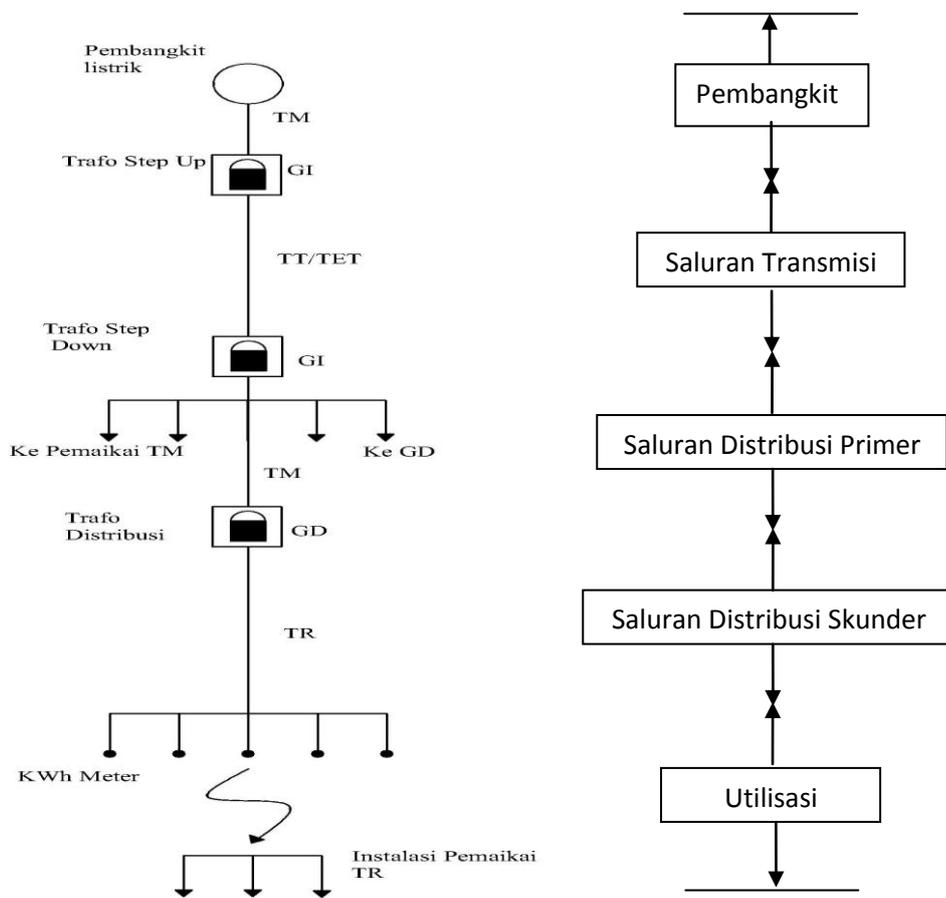
Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk primer dan sekunder transformator $V_{1L} = V_{1ph}$ dan $V_{2L} = V_{2ph}$. Maka hubungan tegangan primer dan sekunder transformator adalah sebagai berikut :

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = k \quad (2.35)$$

2.3 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Secara garis besar, suatu 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 (TM).

Kedua, sautu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET). *Ketiga*, adanya saluran distribusi yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan 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 pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi.



Gambar 2.12 Skema sistem tenaga listrik

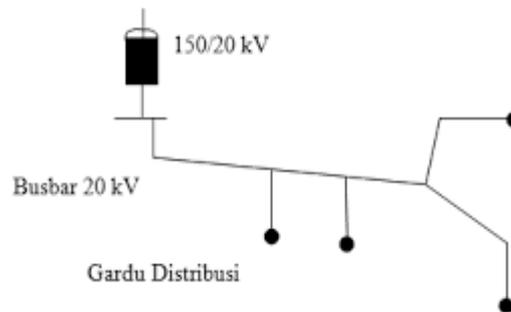
Sebagaimana diketahui, sistem distribusi tenaga listrik terdapat dua bagian, yaitu distribusi primer, yang mempergunakan tegangan menengah, dan distribusi sekunder, yang mempergunakan tegangan rendah.

2.3.1 Distribusi Primer

Sistem distribusi primer ini menggunakan tegangan menengah. Jaringan tegangan menengah adalah jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplay tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Sistem tegangan menengah yang digunakan pada umumnya adalah 20 kV. Jaringan ini mempunyai struktur/pola sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan handal.

2.3.1.1 Sistem Radial

Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana dan umumnya banyak digunakan di daerah pedesaan, sistem yang kecil. Umumnya menggunakan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), sistem radial tidak terlalu rumit, tetapi memiliki tingkat keandalan yang rendah. Gambar 2.1.2 memperlihatkan sistem radial.

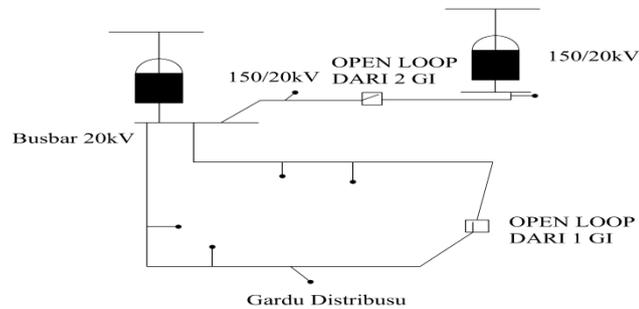


Gambar 2.13 Sistem radial

2.3.1.2 Sistem Loop Terbuka (*Open-Loop*)

Merupakan pengembangan dari sistem radial, sebagai akibat dari diperlukannya kehandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasok dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu

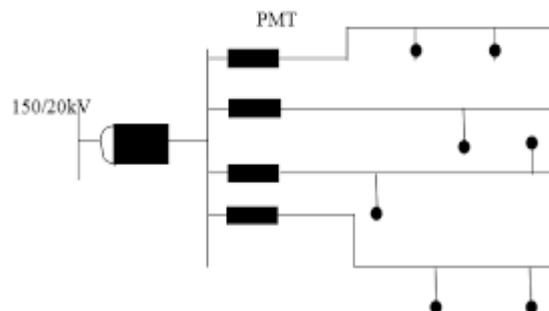
sistem di sisi tegangan tinggi, kaena hal ini diperlukan untuk manufer beban pada saat terjadi gangguan.



Gambar 2.14 Sistem loop terbuka (*open loop*)

2.3.1.3 Sistem Loop Tertutup (*Close-Loop*)

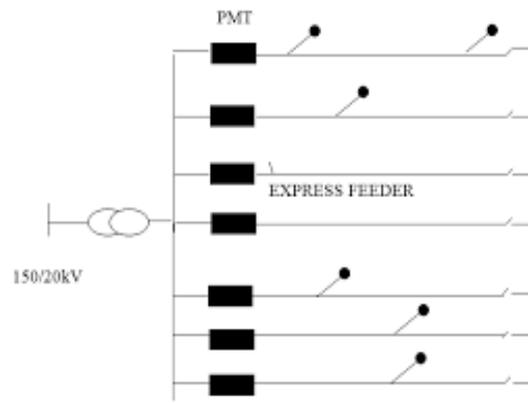
Sistem loop tertutup ini layak digunakan untuk jaringan yang dipasok dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang lebih rumit biasanya menggunakan rele arah (*bidirectional*). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibandingkan sistem yang lain.



Gambar 2.15 Sistem loop tertutup (*close loop*)

2.3.1.4 Sistem Spindel

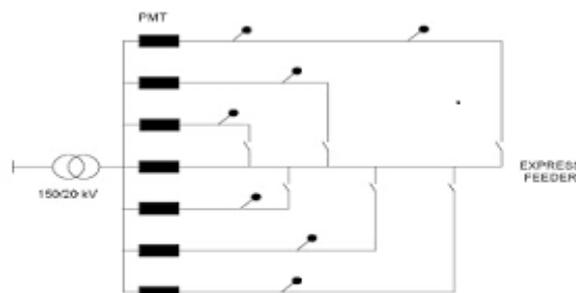
Sistem ini memiliki kehandalan yang relative tinggi karena disediakan satu *exprees feeder* / penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung. Biasanya pada tiap penyulang terdapat gardu tengah (*middle point*) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.



Gambar 2.16 Sistem spindel

2.3.1.5 Sistem Cluster

Sistem cluster sangat mirip dengan sistem spindel, juga disediakan satu khusus tanpa beban (*feeder express*).



Gambar 2.17 Sistem cluster

2.3.2 Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder menggunakan jaringan tegangan rendah. Berdasarkan penempatan jaringan, jaringan tegangan rendah dibedakan menjadi dua, yaitu :

2.3.2.1 Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Saluran ini merupakan penghantar yang ditempatkan diatas tiang. Ada dua jenis penghantar yang digunakan,yaitu penghantar tidak berisolasi (kawat) dan penghantar berisolasi (kabel).

Penghantar tidak berisolasi mempunyai kelemahan, seperti rawan pencurian dan rawan terjadi gangguan fasa ke fasa maupun fasa ke netral. Tetapi memiliki keunggulan harga yang relatif murah dan mudah dalam pengusutan gangguan. Sedangkan penghantar berisolasi memiliki keuntungan dan kerugian yang saling berlawanan dengan penghantar tidak berisolasi.

Pada umumnya PT. PLN (Persero) menggunakan SUTR dengan isolasi (kabel pilin) dengan inti aluminium. Standar ukuran kabel yang digunakan adalah $3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$. Dengan karakteristik listrik seperti terlihat pada tabel 2.1.

2.3.2.2 Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Saluran ini menempatkan kabel dibawah tanah. Tujuan utama penempatan dibawah tanah pada umumnya karena alasan estetika, sehingga penggunaan SKTR umumnya adalah pada daerah perindustrian dan kompleks perumahan.

Keuntungan penggunaan kabel ini adalah estetika yang lebih indah dan tidak terganggu oleh pengaruh cuaca. Sedangkan kelemahan penggunaan kabel ini adalah jika terjadi gangguan sulit untuk menemukan lokasinya dan jika terjadi pencurian sangat sulit untuk mengungkapnya.

Tabel 2.1 Karakteristik Twisted Kabel Aluminium (NFA2X)

Size of Cable	Phase		Neutral	Public Lighting	
	Resistance ohm/km	Max Current A	Resistance ohm/km	Resistance ohm/km	Max Current A
2x10	3,08	54	3,08	-	-
2x16	1,91	72	1,91	-	-
2x25-1x25	1,2	130	1,38	-	-
2x35-1x25	0,959	125	1,38	-	-
2x50-1x25	0,641	154	0,995	-	-
2x70-1x50	0,443	196	0,69	-	-
2x95-1x70	0,32	242	0,45	-	-
3x25-1x25	1,2	130	1,38	-	-
3x35-1x25	0,959	125	1,38	-	-
3x50-1x35	0,641	154	0,995	-	-
3x70+1x50	0,443	196	0,69	-	-
3x95-1x70	0,32	242	0,45	-	-
3x25-1x25-2x16	1,2	130	1,38	1,91	72
3x35-1x25-2x16	0,959	125	1,38	1,91	72
3x25-1x35-2x16	0,641	154	0,995	1,91	72
3x70-1x50-2x16	0,433	196	0,69	1,91	72
3x95-1x70-2x16	0,32	242	0,45	1,91	72
3x25-1x25-16	1,2	130	1,38	1,91	72
3x35-1x35-16	0,959	125	1,38	1,91	72
3x50-1x35-16	0,641	154	0,995	1,91	72
3x70-1x50-16	0,443	196	0,69	1,91	72
3x95-1x70-16	0,32	242	0,45	1,91	72

Sumber : Overhead Transmission And Distribution Line Conductor PT. Jembo

Cable Company

2.3.3 Rak Tegangan Rendah

Merupakan perangkat hubung bagi (PHB) tegangan rendah gardu induk distribusi. Rak tegangan rendah terpasang rendah pada gardu distribusi pada sisi tegangan rendah atau sisi hulu dari instalasi tenaga listrik. Fungsinya adalah sebagai alat penghubung sekaligus sebagai pembagi tenaga listrik ke instalasi pengguna tenaga listrik (konsumen). Kapasitas rak tegangan rendah yang digunakan disesuaikan dengan besarnya kapasitas transformator yang digunakan. Rak tegangan rendah terdiri dari beberapa jurusan yang akan dibagi-bagi ke pelanggan.

2.3.4 Komponen Jaringan Tegangan Rendah

Adalah peralatan yang digunakan pada jaringan tegangan rendah sehingga dapat menjalankan fungsinya sebagai penyalur energi listrik ke pelanggan. Komponen pada jaringan tegangan rendah antara lain :

1. Kabel *Schoen*

Kabel *Schoen* digunakan untuk menghubungkan rel pada panel hubung bagi dengan penghantar kabel tegangan rendah (kabel *obstyg*). Kabel *Schoen* dipres pada kabel *obstyg* dan dibuat pada rel hubung bagi.

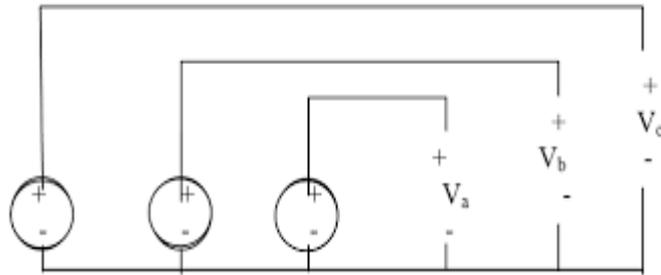
2. Konektor

Peralatan ini digunakan untuk menghubungkan penghantar dengan penghantar. Misalnya antara kabel *obstyg* dengan TIC-AI, TIC-AI dengan sambungan rumah. Jenis konektor yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) ada dua jenis, yaitu : Konektor kedad air (*piercing connector*) dan Konektor *Pres*.

2.3.5 Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa

Kebanyakan sistem tenaga listrik dibangun dengan sistem tiga fasa. Hal tersebut didasarkan pada alasan-alasan ekonomi dan kestabilan aliran daya pada beban. Alasan ekonomi dikarenakan dengan sistem tiga fasa, penggunaan penghantar untuk transmisi menjadi lebih sedikit. Sedangkan alasan kestabilan dikarenakan pada sistem fasa tunggal, sehingga untuk peralatan dengan tiga fasa, daya sistem akan lebih stabil bila dibandingkan dengan peralatan sistem satu fasa.

Sistem tiga fasa dapat digambarkan dengan suatu sistem yang terdiri dari tiga sistem fasa tunggal, seperti tampak pada gambar 2.18. Sedangkan bentuk gelombang dari sistem tiga fasa yang merupakan fungsi waktu ditunjukkan pada gambar 2.19.

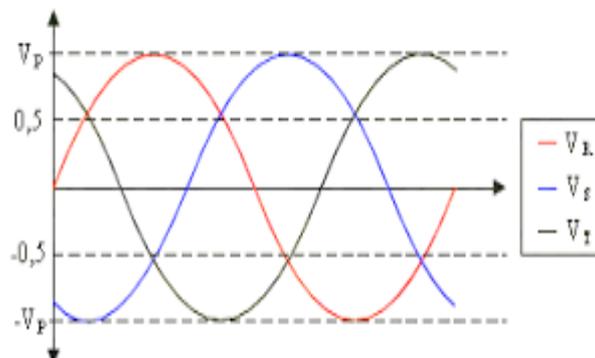


Gambar 2.18 Sistem tiga fase sebagai sistem fase tunggal

$$V_R = V \cos \omega t \quad (2.36)$$

$$V_S = V \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.37)$$

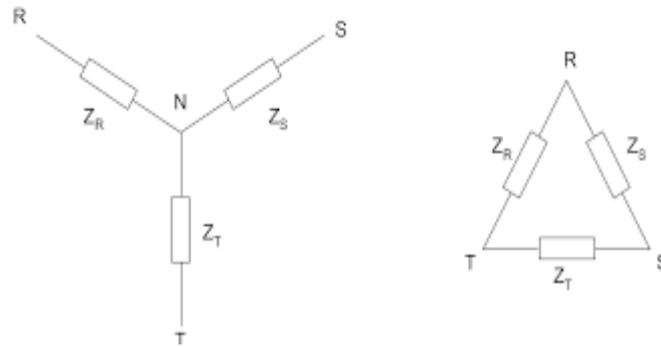
$$V_T = V \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.38)$$



Gambar 2.19 Bentuk gelombang pada sistem tiga fase

2.3.5.1 Sistem Wye (Y) Dan Delta (Δ)

Sistem Y merupakan sistem hubungan pada sistem tiga fase yang menggunakan empat kawat, yaitu fasa R,S,T dan N. Sistem sambungan tersebut menyerupai huruf Y yang memiliki empat titik sambungan, yaitu pada ujung-ujung huruf dan pada titik pertemuan antara garis pembentuk huruf. Sistem Y dapat dilihat seperti pada gambar 2.19 a.



Gambar 2.20 Sistem Y dan sistem Δ

Sistem hubungan atau sambungan Y sering juga disebut sebagai hubungan bintang. Sedangkan pada sistem yang lain yang disebut sebagai sistem Δ, hanya menggunakan fasa R,S dan T untuk hubungan dari sumber ke beban, sebagaimana gambar 2.19 b diatas. Tegangan efektif antara fasa umumnya adalah 380 V dan tegangan efektif fasa dengan netral adalah 220 V.

2.3.5.2 Beban Seimbang Terhubung Delta (Δ)

Pada sistem delta, bila tiga buah beban dengan impedansi yang sama disambungkan pada sumber tiga fasa, maka arus didalam ketiga impedansi akan sama besar tetapi terpisah dengan sudut 120° , dan dikenal dengan arus fasa atau arus beban. Untuk keadaan yang demikian, maka dalam rangkaian akan berlaku :

$$V_{\text{delta}} = V_{\text{line}} \quad (2.39)$$

$$I_{\text{delta}} = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\text{delta}} = \frac{V_{\text{delta}}}{I_{\text{delta}}} = \frac{\sqrt{3}V_{\text{line}}}{I_{\text{line}}}$$

$$S_{\text{delta}} = 3 \times V_{\text{delta}} \times I_{\text{delta}} = \sqrt{3}V_{\text{delta}} \times I_{\text{line}} = 3 \times \frac{V_{\text{line}}^2}{Z_{\text{delta}}} = I_{\text{line}}^2 \times Z_{\text{delta}} \quad (2.40)$$

$$P = S \cos \varphi \quad (2.41)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (2.42)$$

2.3.5.3 Beban Seimbang Terhubung Wye (Y)

Untuk sumber beban yang tersambung bintang atau Y, hubungan antara besaran listriknya adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{bintang}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \quad (2.43)$$

$$I_{\text{bintang}} = I_{\text{line}} \quad (2.44)$$

$$Z_{\text{bintang}} = \frac{V_{\text{bintang}}}{I_{\text{bintang}}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3}I_{\text{line}}} \quad (2.45)$$

$$S_{\text{bintang}} = 3 \times V_{\text{bintang}} \times I_{\text{bintang}} = \sqrt{3}V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} = \frac{V_{\text{line}}^2}{Z_{\text{bintang}}} = 3 \times I_{\text{line}}^2 \times Z_{\text{bintang}} \quad (2.46)$$

$$P = S \cos \varphi \quad (2.47)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (2.48)$$

2.3.5.4 Beban Tidak Seimbang Terhubung Delta (Δ)

Penyelesaian beban tidak seimbang tidaklah dapat disamakan dengan beban yang seimbang sebagaimana dijelaskan diatas. Penyelesaiannya akan menyangkut perhitungan arus-arus phasa dan selanjutnya dengan hokum arus *kirchoff* akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing phasa.

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{Z_{ES}} \quad (2.49)$$

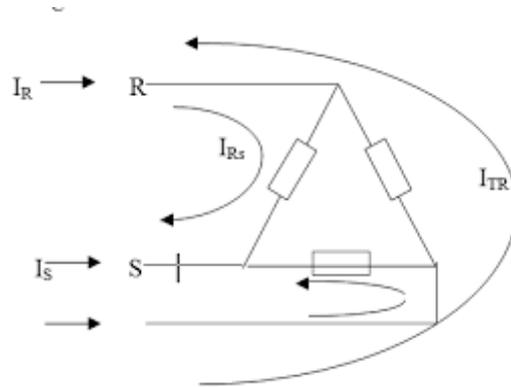
$$I_{TR} = \frac{V_{TR}}{Z_{TR}} \quad (2.50)$$

$$I_{ST} = \frac{V_{ST}}{Z_{ST}} \quad (2.51)$$

$$I_R = I_{RS} - I_{TR} \quad (2.52)$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} \quad (2.53)$$

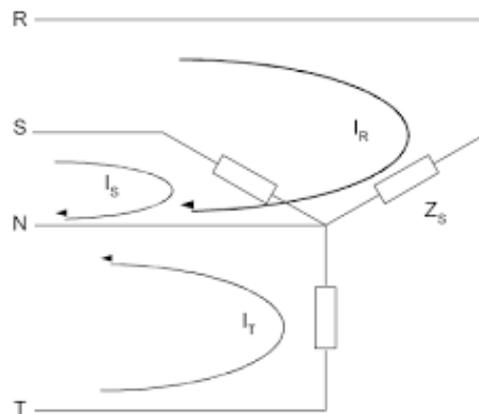
$$I_T = I_{TR} - I_{ST} \quad (2.54)$$



Gambar 2.21 Beban tidak seimbang terhubung delta

2.3.5.5 Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye (Y)

Pada sistem ini masing-masing fasa akan mengalirkan arus yang tidak seimbang menuju netral (pada sistem empat kawat). Sehingga arus netral merupakan penjumlahan secara vektor arus yang mengalir masing-masing fasa.



Gambar 2.22 Beban tidak seimbang terhubung bintang empat kawat

$$I_R = \frac{V_{RN}}{Z_R} \quad (2.55)$$

$$I_S = \frac{V_{SN}}{Z_S} \quad (2.56)$$

$$I_T = \frac{V_{TN}}{Z_T} \quad (2.57)$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (2.58)$$

2.3.6 Transformator Distribusi

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

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20 kV – 231/400 V. Tegangan phasa ke phasa sistem jaaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada trafo tegangan rendah dibuat 400 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V.

Transformator distribusi dapat berfasa tunggal atau phasa tiga dan ukurannya berkisar dari kira-kira 5 kVA sampai 500 kVA. Impedansi transformator distribusi ini pada umumnya sangat rendah, berkisar dari 2 % untuk unit-unit yang kurang dari 50 kVA sampai dengan 4 % untuk unit-unit yang lebih besar dari pada 100 kVA.

2.3.7 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.59)$$

Dengan :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer transformator (V)

I : arus jala-jala (A)

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.60)$$

Dengan :

I_{FL} : arus beban penuh transformator (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder transformator (V)

2.3.8 Rugi-Rugi (*Losses*) Akibat Adanya Arus Pada Penghantar Netral

Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi (*losses*). *Losses* pada penghantar netral transformator ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (2.61)$$

Dengan :

P_N : *losses* pada penghantar netral transformator (watt)

I_N : arus yang mengalir di netral transformator (ampere)

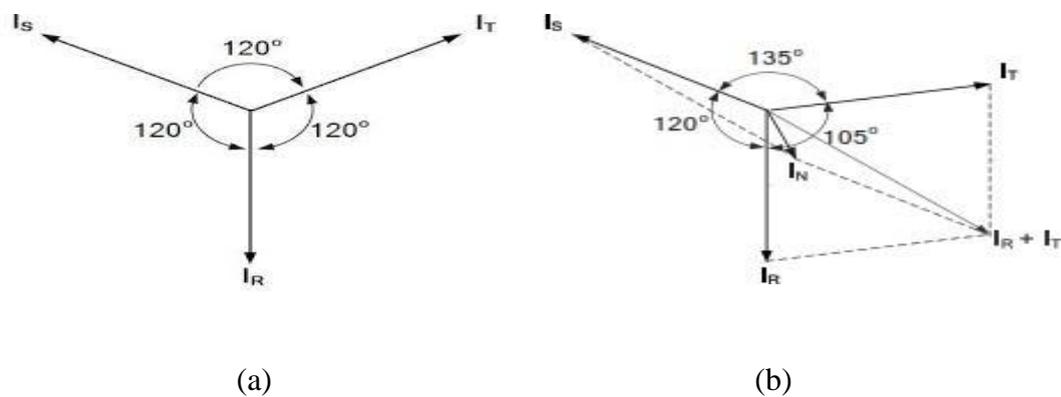
R_N : tahanan penghantar netral transformator (ohm)

2.3.9 Ketidakseimbangan Beban

Beban dalam keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
2. 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. Gambar 2.23 memperlihatkan vector diagram arus.



Gambar 2.23 Vektor diagram arus

2.3.10 Penyaluran Dan Susut Daya Pada Transformator.

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 :

$$P = 3 (V) (I) \cos \varphi \quad (2.62)$$

Dengan :

P : daya pada ujung kirim (watt)

V : tegangan pada ujung kirim (volt)

I : arus fasa (ampere)

$\cos \varphi$: faktor daya

Daya yang sampai pada ujung akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan daya di sepanjang saluran.

Jika (I) adalah besar arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang, besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan keadaan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$I_R = a \times I \quad (2.63)$$

$$I_S = b \times I \quad (2.64)$$

$$I_T = c \times I \quad (2.65)$$

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

$$P = (a + b + c) (V) (I) \cos \varphi \quad (2.66)$$

Apabila persamaan (2.62) dan persamaan (2.66) menyatakan daya yang sama besar, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (2.67)$$

Sehingga rata-rata ketidakseimbangan adalah :

$$Unbalance_{avg} = \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \quad (2.68)$$

Pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

BAB 3

PENGUKURAN DAN DATA TEKNIS TRAFU

3.1. Data Teknis Transformator Distribusi

1. Gardu trafo distribusi 100 kVA

Lokasi	: Jl. Paku T.600 Marelan		
Kode gardu	: MT 96 – 1	Tegangan sekunder	: 400 V
Phasa	: 3 fasa	arus primer	: 2,9 A
Daya	: 100 kVA	arus sekunder	: 151,9
No seri	: 1700074	minyak trafo	: Diala B
Merk	: B&D-Baru	impedansi	: 4 %
Tegangan primer	: 20 kV	temperatur	: °C

2. Gardu trafo distribusi 100 kVA

Lokasi	: Jl. Pasar 1 Tengah Marelan		
Kode gardu	: MT 506 – 1	Tegangan sekunder	: 400 V
Phasa	: 3 fasa	arus primer	: 2,9 A
Daya	: 100 kVA	arus sekunder	: 144,3
No seri	: 1700074	minyak trafo	: Diala C
Merk	: B&D-Baru	impedansi	: 4 %
Tegangan primer	: 20 kV	temperatur	: °C

3. Gardu trafo distribusi 160 kVA

Lokasi	: Jl. Raskam T.600		
Kode gardu	: MT 323 – 1	Tegangan sekunder	: 400 V
Phasa	: 3 fasa	arus primer	: 4,6 A
Daya	: 160 kVA	arus sekunder	: 243,1
No seri	: B12200743	minyak trafo	: Diala B
Merk	: Morawa	impedansi	: 4 %
Tegangan primer	: 20 kV	temperatur	: °C

4. Gardu trafo distribusi 200 kVA

Lokasi	: Jl. Pasar 2 Timur Marelan		
Kode gardu	: MT 398 – 1	Tegangan sekunder	: 400 V
Phasa	: 3 fasa	arus primer	: 5,8 A
Daya	: 200 kVA	arus sekunder	: 303,9
No seri	: 16061281	minyak trafo	: Diala B
Merk	: Sintra	impedansi	: 4 %
Tegangan primer	: 20 kV	temperatur	: 55 °C

5. Gardu trafo distribusi 200 kVA

Lokasi	: Jl. Pasar 2 Barat Marelan		
Kode gardu	: MT 110 – 1	Tegangan sekunder	: 400 V
Phasa	: 3 fasa	arus primer	: 5,8 A
Daya	: 200 kVA	arus sekunder	: 303,9
No seri	: 33173610069	minyak trafo	: Diala B
Merk	: Sechneder	impedansi	: 4 %
Tegangan primer	: 20 kV	temperatur	: 58 °C

3.2 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi

Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Power Quality Anayzer Fluke 435*. Pengukuran pembebanan transformator dilakukan pada lima buah transformator distribusi dengan lokasi yang berbeda. Berikut adalah data hasil pengukuran di setiap transformator distribusi.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelan

Arus (Ampere)				Faktor Daya ($\cos\phi$)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
90	127	124	34	0,91	0,93	0,93	R-N = 215,8 S-N = 215,4 T-N = 213,2

Tabel 3.2 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan

Arus (Ampere)				Faktor Daya ($\cos\phi$)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
54	61	30	22	0,91	0,91	0,92	R-N = 196 S-N = 196 T-N = 197

Tabel 3.3 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600

Arus (Ampere)				Faktor Daya ($\cos\phi$)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
90	95	87	24	0,91	0,91	0,93	R-N = 211 S-N = 212 T-N = 212

Tabel 3.4 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelán

Arus (Ampere)				Faktor Daya ($\cos\phi$)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
272	255	148	65	0,98	0,94	0,83	R-N = 196 S-N = 196 T-N = 197

Tabel 3.5 Data Pengukuran Pembebanan Pada Transformator Distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan

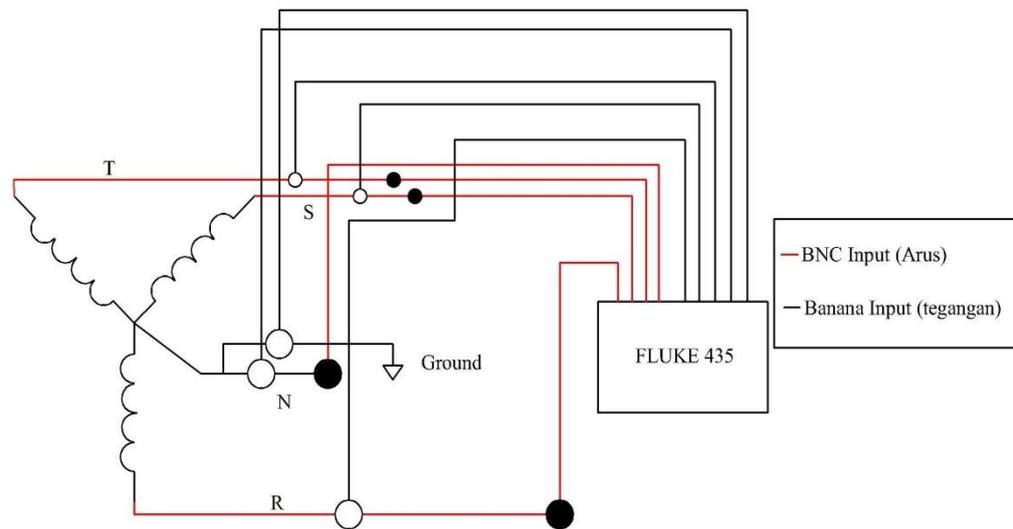
Arus (Ampere)				Faktor Daya ($\cos\phi$)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
198	180	238	65	0,91	0,93	0,93	R-N = 220,65 S-N = 218,93 T-N = 218,24

3.3 Data Tahanan Kawat Penghantar Netral Transformator Distribusi

Ukuran kawat untuk penghantar netral transformator distribusi yang digunakan oleh PT.PLN (Persero) adalah 50 mm² dengan $R = 0,6842$ ohm/km, untuk ukuran kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan $R = 0,5049$ ohm/km. Sedangkan panjang kawat penghantar netral trafo untuk jaringan tegangan rendah di asumsikan 1 km. Dengan demikian $R_N = 0,6842$ ohm.

3.4 Rangkaian Pengukuran Pembebanan Transformator Distribusi

Gambar dibawah ini memperlihatkan rangkaian pengukuran pembebanan transformator distribusi dengan menggunakan *Power Quality Analyzer*.



Gambar 3.1 Rangkaian pengukuran pembebanan transformator distribusi dengan menggunakan *Power Quality Analyzer Fluke 435*.

BAB 4

ANALISIS PERFORMA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

4.1 Menentukan Persentase Pembebanan Transformator

Persentase pembebanan transformator distribusi yang di analisis di PT PLN (Persero) Rayon Labuhan terdiri dari. Transformator distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelan, transformator distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan, transformator distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600, transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelan, dan transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan.

4.1.1 Persentase Pembebanan Transformator Distribusi 100 KVA Di Jl. Paku

T.600 Marelan

$$S = 100 \text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Tranformator.

$$\begin{aligned} I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \\ &= \frac{100000}{\sqrt{3} \times 400} \end{aligned}$$

$$I_{FL} = 144,34 \text{ A}$$

$$I_R = 90 \text{ A}$$

$$I_S = 127 \text{ A}$$

$$I_T = 124 \text{ A}$$

Dari data, dapat dihitung pembebanan tiap phasa pada transformator.

$$\begin{aligned}\text{Phasa R} &= \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{90}{144,34} \times 100\% \\ &= 62,3 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Phasa S} &= \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{127}{144,34} \times 100\% \\ &= 87,9 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Phasa T} &= \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{124}{144,34} \times 100\% \\ &= 85,9 \%\end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{62,3 \% + 87,9 \% + 85,9 \%}{3} = 78,7 \%$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{90 \text{ A} + 127 \text{ A} + 124 \text{ A}}{3} = 113,7 \text{ Ampere}$$

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 144,34 \text{ A} - 113,7 \text{ A} = 30,6 \text{ Ampere}$$

4.1.2 Persentase Pembebanan Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan

$$S = 100 \text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Transformator.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}}$$

$$= \frac{100000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_{FL} = 144,34 \text{ A}$$

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

$$I_S = 61 \text{ A}$$

$$I_T = 30 \text{ A}$$

Dari data, dapat dihitung pembebanan tiap phasa pada transformator.

$$\text{Phasa R} = \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{54}{144,34} \times 100\%$$

$$= 37,4 \%$$

$$\text{Phasa S} = \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{61}{144,34} \times 100\%$$

$$= 42,2 \%$$

$$\text{Phasa T} = \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{30}{144,34} \times 100\%$$

$$= 20,7 \%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{37,4 \% + 42,2 \% + 20,7 \%}{3} = 33,4 \%$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{54 A + 61 A + 30 A}{3} = 48,3 \text{ Ampere}$$

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 144,34 A - 48,3 A = 96 \text{ Ampere}$$

4.1.3 Persentase Pembebanan Transformator Distribusi 160 kVA Di Jl. Raskam T.600

$$S = 160 \text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Transformator.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}}$$

$$= \frac{160000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_{FL} = 230,94 \text{ A}$$

$$I_R = 90 \text{ A}$$

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

$$I_T = 87 \text{ A}$$

Dari data, dapat dihitung pembebanan tiap phasa pada transformator.

$$\begin{aligned} \text{Phasa R} &= \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{90}{230,94} \times 100\% \\ &= 38,9 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Phasa S} &= \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{95}{230,94} \times 100\% \\ &= 41,1 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Phasa T} &= \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{87}{230,94} \times 100\% \\ &= 37,6 \text{ \%} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{38,9 \text{ \%} + 41,1 \text{ \%} + 37,6 \text{ \%}}{3} = 39,2 \text{ \%}$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{90 \text{ A} + 95 \text{ A} + 87 \text{ A}}{3} = 90,6 \text{ Ampere}$$

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 230,94 \text{ A} - 90,6 \text{ A} = 140,3 \text{ Ampere}$$

4.1.4 Persentase Pembebanan Transformator Distribusi 200 kVA Di Jl. Pasar 2 Timur Marelan

$$S = 200 \text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Transformator.

$$\begin{aligned} I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \\ &= \frac{200000}{\sqrt{3} \times 400} \end{aligned}$$

$$I_{FL} = 288,67 \text{ A}$$

$$I_R = 272 \text{ A}$$

$$I_S = 255 \text{ A}$$

$$I_T = 148 \text{ A}$$

Dari data, dapat dihitung pembebanan tiap fasa pada transformator.

$$\begin{aligned} \text{Fasa R} &= \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{272}{288,67} \times 100\% \\ &= 94,2 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S} &= \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{255}{288,67} \times 100\% \\ &= 88,3 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Phasa T} &= \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100\% \\
 &= \frac{148}{288,67} \times 100\% \\
 &= 51,2\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{94,2\% + 88,3\% + 51,2\%}{3} = 77,9\%$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{272\text{ A} + 255\text{ A} + 148\text{ A}}{3} = 225\text{ Ampere}$$

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 288,67\text{ A} - 225\text{ A} = 63,6\text{ Ampere}$$

4.1.5 Persentase Pembebanan Transformator Distribusi 200 KVA Di Jl. Pasar

2 Barat Marelan

$$S = 200\text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400\text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Transformator.

$$\begin{aligned}
 I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \\
 &= \frac{200000}{\sqrt{3} \times 400}
 \end{aligned}$$

$$I_{FL} = 288,67\text{ A}$$

$$I_R = 198 \text{ A}$$

$$I_S = 180 \text{ A}$$

$$I_T = 238 \text{ A}$$

Dari data, dapat dihitung pembebanan tiap fasa pada transformator.

$$\begin{aligned} \text{Fasa R} &= \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{198}{288,67} \times 100\% \\ &= 68,5 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S} &= \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{180}{288,67} \times 100\% \\ &= 62,3 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T} &= \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{238}{288,67} \times 100\% \\ &= 82,4 \text{ \%} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{68,5 \text{ \%} + 62,3 \text{ \%} + 82,4 \text{ \%}}{3} = 71 \text{ \%}$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{198 \text{ A} + 180 \text{ A} + 238 \text{ A}}{3} = 205,3 \text{ Ampere}$$

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 288,67 \text{ A} - 205,3 = 83,3 \text{ Ampere}$$

4.2 Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator.

4.2.1 Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformasi Distribusi 100

kVA Di Jl. Paku T.600 Marelan

$$I_R = 90 \text{ A}$$

$$I_S = 127 \text{ A}$$

$$I_T = 124 \text{ A}$$

Dari data diatas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg}).

$$\begin{aligned} I_{avg} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{90 + 127 + 124}{3} \end{aligned}$$

$$I_{avg} = 113,66 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64) dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{90}{113,66} = 0,79$$

$$I_S = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{127}{113,66} = 1,11$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{124}{113,66} = 1,09$$

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

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketidakseimbangan beban} &= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{[0,79-1] + [1,11-1] + [1,09-1]\}}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = 13,7 \%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 13,7 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 113,66 \text{ A} \times 13,7 \% = 15,5 \text{ Ampere}$$

Arus yang tidak dimanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara fasa R, S dan T.

4.2.2 Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 100

kVA Di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan

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

$$I_S = 61 \text{ A}$$

$$I_T = 30 \text{ A}$$

Dari data diatas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg}).

$$\begin{aligned} I_{avg} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{54 + 61 + 30}{3} \end{aligned}$$

$$I_{avg} = 48,33 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64) dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{54}{48,33} = 1,11$$

$$I_s = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_s}{I} = \frac{61}{48,33} = 1,26$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{30}{48,33} = 0,62$$

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

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketidakseimbangan beban} &= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{[1,11-1] + [1,26-1] + [0,62-1]\}}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = 25 \%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 25 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 48,33 \text{ A} \times 25 \% = 12 \text{ Ampere}$$

Arus yang tidak termanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara phasa R, S dan T.

4.2.3 Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 160

kVA Di Jl. Raskam T.600

$$I_R = 90 \text{ A}$$

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

$$I_T = 87 \text{ A}$$

Dari data diatas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg}).

$$I_{avg} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{90 + 95 + 87}{3}$$

$$I_{\text{avg}} = 90,66 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64) dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{90}{90,66} = 0,99$$

$$I_S = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{95}{90,66} = 1,04$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{87}{90,66} = 0,95$$

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

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketidakseimbangan beban} &= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{[0,99-1] + [1,04-1] + [0,95-1]\}}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = 3 \%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 3 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 90,66 \text{ A} \times 3 \% = 2,7 \text{ Ampere}$$

Arus yang tidak termanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara fasa R, S dan T.

4.2.4 Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 200

kVA Di Jl. Pasar 2 Timur Marelan

$$I_R = 272 \text{ A}$$

$$I_s = 255 \text{ A}$$

$$I_T = 148 \text{ A}$$

Dari data diatas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg}).

$$\begin{aligned} I_{avg} &= \frac{I_R + I_s + I_T}{3} \\ &= \frac{272 + 255 + 148}{3} \end{aligned}$$

$$I_{avg} = 225 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64) dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{272}{225} = 1,20$$

$$I_s = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_s}{I} = \frac{255}{225} = 1,13$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{148}{225} = 0,65$$

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

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketidakseimbangan beban} &= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{[1,20-1] + [1,13-1] + [0,65-1]\}}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = 22,7 \%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 22,7 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 225 \text{ A} \times 22,7 \% = 51 \text{ Ampere}$$

Arus yang tidak termanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara fasa R, S dan T.

4.2.5 Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 200

kVA Di Jl. Pasar 2 Barat Marelan

$$I_R = 198 \text{ A}$$

$$I_S = 180 \text{ A}$$

$$I_T = 238 \text{ A}$$

Dari data diatas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg}).

$$\begin{aligned} I_{avg} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{198 + 180 + 238}{3} \end{aligned}$$

$$I_{avg} = 205,33 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64), dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{198}{205,33} = 0,96$$

$$I_S = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{180}{205,33} = 0,87$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{238}{205,33} = 1,15$$

Pada keadaan seimbang, koefisien a, b, dan c adalah sama dengan 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakeimbangan beban (%) adalah :

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketidakseimbangan beban} &= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{[0,96-1] + [0,87-1] + [1,15-1]\}}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

% Ketidakseimbangan beban = 10,7 %

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 10,7 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 205,33 \text{ A} \times 10,7 \% = 21,9 \text{ Ampere}$$

Arus yang tidak dimanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara fasa R, S dan T.

4.3 Analisis Rugi-Rugi (*Losses*) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator.

Standard rugi-rugi beban (watt) maksimum pada transformator distribusi berdasarkan **SPLN50:1997** adalah :

1. Transformator distribusi kapasitas 100 kVA : 1600 watt
2. Transformator distribusi kapasitas 160 kVA : 2000 watt
3. Transformator distribusi kapasitas 200 kVA : 2500 watt

4.3.1 Persentase Rugi-Rugi Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Paku

T.600 Marelan

$$I_N = 34 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

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

$$= (34)^2 \times 0,6842$$

$$P_N = 0,79 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

$$P = V \times I \times \cos\varphi$$

$$P_R = 215,8 \times 90 \times 0,91 = 17,67 \text{ kW}$$

$$P_S = 215,4 \times 127 \times 0,93 = 25,44 \text{ kW}$$

$$P_T = 213,2 \times 124 \times 0,93 = 24,58 \text{ kW}$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah :

$$P = P_R + P_S + P_T$$

$$= 17,677 + 25,44 + 24,58$$

$$P = 67,69 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

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

$$= \frac{0,79}{67,69} \times 100\%$$

$$\% P_N = 1,16 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban pada transformator 100 kVA yaitu 790 watt (1,16%) ini masih berada dibawah standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 100 kVA rugi-rugi beban yang dizinkan:

$$= 1600 \text{ watt} = 0,16 \text{ kw} \div 100 \text{ kVA} = (1,6\%).$$

4.3.2 Persentase Rugi-Rugi Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Pasar 1

Tengah Marelan

$$I_N = 22 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= (22)^2 \times 0,6842 \end{aligned}$$

$$P_N = 0,33 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

$$P = V \times I \times \cos\varphi$$

$$P_R = 202 \times 54 \times 0,91 = 99,26$$

$$P_S = 203 \times 61 \times 0,91 = 11,26$$

$$P_T = 204 \times 30 \times 0,92 = 56,30$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah :

$$\begin{aligned} P &= P_R + P_S + P_T \\ &= 99,26 + 11,26 + 56,30 \end{aligned}$$

$$P = 166,8 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{0,33}{166,8} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% P_N = 0,19 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban pada transformator 100 kVA yaitu 331 watt (0,19%) ini masih berada dibawah standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 100 kVA rugi-rugi beban yang diizinkan:

$$= 1600 \text{ watt} = 0,16 \text{ kw} \div 100 \text{ kVA} = (1,6\%).$$

4.3.3 Persentase Rugi-Rugi Transformator Distribusi 160 kVA Di Jl. Raskam T.600

$$I_N = 24 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (losses) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= (24)^2 \times 0,6842 \end{aligned}$$

$$P_N = 0,39 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase rugi-rugi (losses) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

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

$$P_R = 211 \times 90 \times 0,91 = 17,28$$

$$P_S = 212 \times 95 \times 0,91 = 18,32$$

$$P_T = 212 \times 87 \times 0,93 = 17,15$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah :

$$\begin{aligned} P &= P_R + P_S + P_T \\ &= 17,28 + 18,32 + 17,15 \end{aligned}$$

$$P = 52,75 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi(losses) akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{0,39}{52,75} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% P_N = 0,73 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban pada transformator 160 kVA yaitu 394 watt (0,73%) ini masih dibawah standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 160 kVA rugi-rugi beban yang diizinkan:

$$= 2000 \text{ watt} = 0,02 \text{ kw} \div 160 \text{ kVA} = (1,25\%).$$

4.3.4 Persentase Rugi-Rugi Transformator distribusi 200 kVA Di Jl. Pasar 2 Timur Marelان

$$I_N = 65 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= (65)^2 \times 0,6842 \end{aligned}$$

$$P_N = 0,28 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

$$P_N = V \times I \times \text{Cos}\varphi$$

$$P_R = 196 \times 272 \times 0,98 = 52,24$$

$$P_S = 196 \times 255 \times 0,94 = 46,98$$

$$P_T = 197 \times 148 \times 0,83 = 24,19$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah :

$$P = P_R + P_S + P_T$$

$$= 52,24 + 46,98 + 24,19$$

$$P = 123,4 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

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

$$= \frac{0,28}{123,4} \times 100\%$$

$$\% P_N = 0,22 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban transformator 200 kVA yaitu 2890 watt (0,22%) ini berarti melebihi standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 200 kVA rugi-rugi beban yang diizinkan:

$$= 2500 \text{ watt} = 0,25 \text{ kw} \div 200 \text{ kVA} = (1,25\%).$$

4.3.5 Persentase Rugi-Rugi Transformator Distribusi 200 kVA Di Jl. Pasar 2

Barat Marelan

$$I_N = 65 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

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

$$= (65)^2 \times 0,6842$$

$$P_N = 0,28 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase rugi-rugi (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

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

$$P_R = 220,65 \times 198 \times 0,91 = 39,75$$

$$P_S = 218,93 \times 180 \times 0,93 = 36,64$$

$$P_T = 218,24 \times 238 \times 0,93 = 48,30$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah :

$$P = P_R + P_S + P_T$$

$$= 39,75 + 36,64 + 48,30$$

$$P = 124,6 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

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

$$= \frac{0,28}{124,6} \times 100\%$$

$$\% P_N = 0,22 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban pada transformator 200 kVA yaitu 2890 watt (0,22%) ini berarti melebihi standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 200 kVA rugi-rugi beban yang diizinkan:

$$= 2500 \text{ watt} = 0,25 \text{ kw} \div 200 \text{ kVA} = (1,25\%).$$

Tabel 4.1 Rangkuman Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi (*Losses*) Pada Transformator

Trafo	Lokasi	Unbalance Load (%)	I _N (A)	P _N (watt)	P _N (%)	Keterangan
100 kVA	Jl. Paku T 600 Marelan	13,7 %	34	790	1,16	Dibawah standar
100 kVA	Jl. Pasar 1 Tengan Marelan	25 %	22	331	0,19	Dibawah standar
160 kVA	Jl. Raskam T 600	3 %	24	394	0,73	Dibawah standar
200 kVA	Jl. Pasar 2 Timur Marelan	22,7 %	65	2890	0,22	Melebihi standar
200 kVA	Jl. Pasar 2 Barat Marelan	10,7 %	65	2890	0,22	Melebihi standar

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin besar persentase ketidakseimbangan beban pada transformator, maka arus pada penghantar netral akan semakin besar sehingga rugi-rugi pada transformator 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan dan transformator 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelan sudah melebihi standard SPLN50: 1997, sedangkan pada transformator 100 kVA di Jl. Paku T600 Marelan, transformator 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan dan transformator 160 kVA di Jl. Raskam T600 masih dibawah standard SPLN50: 1997.

4.4 Analisis Energi Yang Hilang (kWh) Akibat Arus Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Transformator.

4.4.1 Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Paku T.600 Marelan

$$P_N = 790 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 790 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 18,96 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 790 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 568,8 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 568,8 kWh/bulan.

4.4.2 Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan

$$P_N = 331 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 331 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 79,44 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 331 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 238,3 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 238,3 kWh/bulan.

4.4.3 Transformator Distribusi 160 kVA Di Jl. Raskam T.600

$$P_N = 394 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 394 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 94,56 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 394 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 283,6 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 283,6 kWh/bulan.

4.4.4 Transformator Distribusi 200 kVA Di Jl. Pasar 2 Timur Marelán

$$P_N = 2890 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 2890 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 69,36 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 2890 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 208 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 208 kWh/bulan.

4.4.5 Transformator Distribusi 200 kva Di Jl. Pasar 2 Barat Marelan

$$P_N = 2890 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 2890 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 69,36 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 2890 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 208 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 208 kWh/bulan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari data-data yang ada, maka dapat disimpulkan :

1. Pada transformator distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan ketidakseimbangan bebannya paling besar (25 %) karena pembebanan yang tidak merata. Menyusul transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelan (22,7 %). Transformator distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelan (13,7 %). Transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan (10,7 %) dan yang paling kecil pada transformator distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600 (3 %).
2. Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka arus yang mengalir pada penghantar netral transformator (I_N) semakin besar dan rugi-rugi (losses) yang ditimbulkan juga semakin besar. Pada transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan dan transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelan rugi-rugi beban yang dihasilkan sudah melebihi standar yang diizinkan.
3. Energi yang hilang (kWh) pada transformator distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelan adalah (568,8 kWh/Bulan), transformator distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelan (238,3 kWh/Bulan), transformator distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600 (283,6 kWh/Bulan), transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelan (208 kWh/Bulan), transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan (208 kWh/Bulan).

5.2 Saran

Dari pembahasan tugas akhir ini disarankan kepada pihak PT. PLN (Persero) agar dapat melakukan pemeriksaan secara berskala, pada tiap-tiap fasa transformator distribusi saat melakukan pemeliharaan. Sehingga apabila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar hal ini dapat diatasi dengan pemerataan beban pada tiap konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Berahim,Hamzah. (1991) *Pengantar Teknik Tenaga Listrik “Teori Ringkas dan Penyelesaian Soal”*.edisi pertama. Yogyakarta: Andi Offset.
- Elgerd,Olle I. (1983) *Electric Energy System Theory*.2ⁿ d edition. New delhi : McGraw-Hill Publishing Company.
- Fitzgerald,AE. (1992) *Mesin-Mesin Listrik*.Edisi ke-4.Jakarta : Erlangga
- Gonen,Turan. (1986) *Electric Power Distribution System Engineering*.International Edition.Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Kadir,Abdul. (1989) *Transformator*.Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Kadir,Abdul. (2000) *Distribution dan Utilisasi Tenaga Listrik*.Jakarta : UI Press.
- Michael,Neidle. (1999) *Teknologi Instalasi Listrik*.Edisi ke-3.Terjemahan Ir Sahat Pakpahan.Jakarta : Erlangga.
- Pabla,AS. (1983) *Electric Power Distribution System*.New Delhi : McGraw-Hill Publishing Company United.
- Sulasno,Ir. (1991) *Teknik Tenaga Listrik*.Semarang : Satya Wacana.
- Wijaya,Mochtar. (2001) *Dasar-Dasar Mesin Listrik*.Jakarta : Djambatan
- Zuhal. (1995) *Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.Edisi ke-5.Jakarta : Gramedia.
- Buhron,Hernadi.30 Oktober (2008) *Perhitungan Losses Pada Jaringan Tegangan Rendah*.<http://Jendela Distribusi.co.cc>.

STANDAR

PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA

SPLN 50:1997

Lampiran Keputusan Direksi P.T. PLN (PERSERO)
No. : 045.K/0594/DIR/1997, tanggal 8 Juli 1997

**SPEKIFIKASI
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI**

P.T. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO)

JALAN TRUNOJOYO NO. 135 - KEBAYORAN BARU - JAKARTA 12160



TABEL 2
Spesifikasi Transformator Distribusi fase - tiga

Urutan	Satuan	Spesifikasi Transformator Distribusi jenis pasangan luar/dalam, pendinginan ONAN															
Daya pengenal	kVA	25	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Jumlah fase	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Frekuensi pengenal	Hz	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Tegangan primer pengenal	kV	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tegangan sekunder pengenal (beban nol)	V	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Kelompok vektor *)	-	Yzn5	Yzn5	Yzn5	Yzn5	Dyn5											
Tegangan uji impuls	kV	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Tegangan uji terapan	kV	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Kelas isolasi	kV	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Kelas suhu isolasi	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Kenaikan suhu maks belitan	K	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Kenaikan suhu maks minyak	K	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Suhu titik panas	°C	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Penyadapan primer	%	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10	±5, ±10
Impedansi	%	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5	5	5,5	6	7	7
Rugi besi	W	75	150	300	400	480	600	770	930	1100	1300	1750	2300	3500	3000	3600	4000
Rugi belitan (rugi beban)	W	425	800	1600	2000	2500	3000	3900	4600	5500	6500	9100	12100	18000	18100	21000	25000
Rugi total pada 75 °C	%	2,00	1,90	1,90	1,50	1,49	1,44	1,48	1,38	1,32	1,24	1,36	1,44	1,40	1,32	1,23	1,16
Arus beban nol	%	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,9	1,8	2	2	2	2	2	2
Efisiensi pada 75 °C																	
Faktor daya 1 Beban 100 %	%	97,90	98,13	98,13	98,52	98,53	98,58	98,54	98,64	98,70	98,78	98,66	98,50	98,60	98,68	98,78	98,85
Beban 75 %	%	98,22	98,42	98,42	98,74	98,76	98,79	98,76	98,84	98,89	98,96	98,87	98,00	98,82	98,88	98,98	99,04
Beban 50 %	%	98,44	98,62	98,62	98,89	98,91	98,93	98,90	98,97	99,02	99,08	99,00	90,95	98,98	99,03	99,12	99,19
Beban 25 %	%	98,22	98,42	98,42	98,70	98,74	98,75	98,72	98,79	98,86	98,93	98,85	98,79	98,85	98,98	99,02	99,20
Faktor daya 0,8 Beban 100 %	%	97,39	97,68	97,68	98,16	98,17	98,23	98,18	98,30	98,30	98,48	98,33	98,23	98,26	98,36	98,48	98,57
Beban 75 %	%	97,79	98,04	98,04	98,44	98,45	98,50	98,46	98,56	98,62	98,71	98,59	98,51	98,34	98,62	98,73	98,81
Beban 50 %	%	98,06	98,28	98,28	98,61	98,62	98,67	98,63	98,72	98,78	98,85	98,76	98,69	98,73	98,79	98,90	98,98
Beban 25 %	%	97,79	98,04	98,04	98,38	98,39	98,45	98,42	98,50	98,58	98,66	98,57	98,50	98,57	98,63	98,79	98,90
Pengaturan pada beban penuh																	
Faktor daya 0,8	%	3,60	3,50	3,50	3,31	3,31	3,28	3,3	3,25	3,22	3,17	3,65	3,93	4,25	4,52	5,11	5,08
Faktor daya 1,0	%	1,86	1,67	1,67	1,32	1,32	1,27	1,31	1,22	1,17	1,11	1,37	1,33	1,34	1,3	1,29	1,24

*) Untuk pasangan fase-tiga, 4 kawat kelompok vektor yang digunakan adalah YNyn 0
Untuk transformator pembangkit kelompok vektor yang digunakan adalah YNd5



DATA TRAFU PENGGANTI

A. DATA UMUM

1. Alamat Gardu Sesuai SIGD : JL. Paku T600 Marelan Rayon Gard : **ML.096**
 2. Petugas Gangguan : LABUHAN 21 Penyulang : PP.2
 3. Hari / Tgl. Jam Perbaikan : Selasa / 10 Juli 2018 2:30 WIB
 4. Cuaca Pada Lokasi : Panas Terik Cerah Mendung Hujan Deras
 Hujan Gerimis Angin Kencang Badai Petir

B. DATA TRAFU PENGGANTI

1. Buatan Pabrik : B&D 6. Daya Nominal : **100** KVA
 2. Jenis Type : DOUBLE POLE 7. Tegangan Nominal : 20.000 Volt / 400 Volt
 3. Nomor Seri : 1700074 8. Arus Nominal : **144,5** AMP
 4. Tahun Pembuatan : 2017 9. Jenis Minyak :
 5. Tahun Operasi Pasang : 2018 10. Arus Sekunder : 151,9756839
 11. Tap Trafo :

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

C. HASIL PENGUKURAN KOMPONEN UTAMA (Secara Visual)

1. Bushing Primer	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>3</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	3	bh	<table border="1"><tr><td>Rusak</td><td>-</td><td>bh</td></tr></table>	Rusak	-	bh	7. Karet Bushing Trafo	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	bh	<table border="1"><tr><td>Rusak</td><td>/</td><td>bh</td></tr></table>	Rusak	/	bh
Baik	3	bh														
Rusak	-	bh														
Baik	bh															
Rusak	/	bh														
2. Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>4</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	4	bh	<table border="1"><tr><td>Rusak</td><td>-</td><td>bh</td></tr></table>	Rusak	-	bh	8. Karet Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	bh	<table border="1"><tr><td>Rusak</td><td>/</td><td>bh</td></tr></table>	Rusak	/	bh
Baik	4	bh														
Rusak	-	bh														
Baik	bh															
Rusak	/	bh														
3. Thermometer	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	<table border="1"><tr><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Tidak Ada	9. Silicon di Bushing	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	<table border="1"><tr><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Tidak Ada							
Ada / Baik / Rusak																
Tidak Ada																
Ada / Baik / Rusak																
Tidak Ada																
4. Gelas Penduga	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	<table border="1"><tr><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Tidak Ada	10. Baut Bushing Primer	<table border="1"><tr><td>Terkunci</td><td>bh</td></tr></table>	Terkunci	bh	<table border="1"><tr><td>Longger</td><td>bh</td></tr></table>	Longger	bh					
Ada / Baik / Rusak																
Tidak Ada																
Terkunci	bh															
Longger	bh															
5. Minyak Trafo	<table border="1"><tr><td>Tidak Menetes</td></tr></table>	Tidak Menetes	<table border="1"><tr><td>Menetes</td></tr></table>	Menetes	11. Baut Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Terkunci</td><td>bh</td></tr></table>	Terkunci	bh	<table border="1"><tr><td>Longger</td><td>bh</td></tr></table>	Longger	bh					
Tidak Menetes																
Menetes																
Terkunci	bh															
Longger	bh															
6. Batas / Level Minyak Trafo	<table border="1"><tr><td>Cukup</td></tr></table>	Cukup	<table border="1"><tr><td>Kurang</td></tr></table>	Kurang	12. Body Trafo / Chasing	<table border="1"><tr><td>Baik</td></tr></table>	Baik	<table border="1"><tr><td>Gembung / Rusak</td></tr></table>	Gembung / Rusak							
Cukup																
Kurang																
Baik																
Gembung / Rusak																

D. HASIL PEMASANGAN KELENGKAPAN GARDU / TRAFU (Secara Visual)

1. Fuse Link : R : B A S : B A T : B A

2. Pentanahan L. Arrester	BAIK	5	Ohm
3. Pentanahan Body	BAIK	6	Ohm
4. Pentanahan Netral	BAIK	4	Ohm
5. Jenis Kabel Trafo-LVC	NYFGBY		
6. Penampang Kabel Trafo-LVC	4X70	mm	

E. PENGUKURANTAHANAN ISOLASI

1. Tahanan Primer Body	R-Body	: 3000 Mohm	S- Body	: 3000 M ohm	T - Body	: 3000 Mohm
2. Tahanan Scunder Body	r-Body	: 3000 Mohm	s - Body	: 3000 M ohm	t - Body	: 3000 Mohm
3. Tahanan Primer-Primer	R - S	: 0 Mohm	R - T	: 0 M ohm	S - T	: 0 Mohm
4. Tahanan Scunder-Scunder	r - s	: 0 Mohm	r - t	: 0 M ohm	s - t	: 0 Mohm
5. Tahanan Primer-Scunder	R - r	: 3000 Mohm	S - s	: 3000 M ohm	S - t	: 3000 Mohm

F. HASIL PENGUKURAN BEBAN PADA SAAT TRAFU ENERGISE WBP / LWBP

Total Arus Beban per Fasa		Persentase Beban per Fasa terhadap Arus Nominal Trafo	
R	: 90 Amp	R	: 59,2 %
S	: 127 Amp	S	: 83,6 %
T	: 124 Amp	T	: 81,6 %
		74,79	

G. ANALISA OPERASIONAL TRAFU :

-: Trafo pengganti kondisi baru dan terpasang dengan baik

NAMA PETUGAS PENGOPERASIONAL

No.	Nama Petugas	Paraf	Jabatan	Catatan :
1	Widiyo Pardede		Staff Teknik	- Trafo terpasang dan beroperasi dengan baik

DIPERIKSA
SPV. TEKNIK

AGIL RIZQAN THARO

DIKETAHUI
MANAJER

HENRI SITIO



PT PLN (PERSERO) WILAYAH SUMATERA UTARA
UP3 MEDAN UTARA
ULP MEDAN LABUHAN

DATA TRANSFORMATOR

Kode Gardu-No Trafo	ML96-1	Tegangan Primer L-L (KV)	20
Lokasi	JL.PAKU T.600	Tegangan Sekunder L-L (Volt)	380
Feeder	PP02	Arus Primer (Amp)	2,9
Daya (kVA)	100	Arus Sekunder (Amp)	151,9
Posisi Tap	2/3	Jenis Minyak	
Fasa	3	Vektor Group	Yzn5
No.Seri		Impedansi (%)	
Merk	B & D - BARU	Temperatur (C)	

Pengaman Sekunder IN : NTFUSE A
 Jumlah Jurusan : 2

Opstik Kabel Incoming : NYFGBY 95 mm2 Konstruksi : DOUBLE POLE
 Opstik Kabel Outgoing : TIC 70 mm2

PENGUKURAN

L W B P	JURUSAN OUTGOING						INCOMING	
	BARAT	TIMUR	-	-	-	-	Amp	%
R (Amp)	18	3	0	0	0	0	21	14
S (Amp)	40	20	0	0	0	0	60	39
T (Amp)	32	12	0	0	0	0	44	29
N (Amp)	13	15	0	0	0	0	34	
BEBAN (%)	20	8	0	0	0	0		
W B P								
R (Amp)	14	1	0	0	0	0	14	9
S (Amp)	53	22	0	0	0	0	75	49
T (Amp)	76	15	0	0	0	0	92	61
N (Amp)	27	25	0	0	0	0	63	
BEBAN (%)	32	9	0	0	0	0		
TEG.UJUNG L-N (Volt)	210	210	0	0	0	0	BEBAN 41 % 41 kVA	
PENGHANTAR JTR	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 250 m	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 400 m						

Tegangan L-N (Volt)	L W B P	W B P
Pangkal	225	-
Cosphi	0,9	0,89
Tanggal Ukur	27-3-2019	5-10-2018
Petugas	PT.RPT	PT.RPT
Grounding (Ohm) : netral 17 body 17 arrester 18		

KETERANGAN
N3 41.159 E98 39.060

DATA TRAFU PENGGANTI

A. DATA UMUM

1 Alamat Gardu Sesuai SIGD JL PSR1 TENGAH MARELAN Rayon Card ML.506
 2 Petugas Gangguan LABUHAN 21 Penyulang PP 2
 3 Hari / Tgl Jam Perbaikan Selasa / 10 Juli 2018 3:30 WIB
 4 Cuaca Pada Lokasi Panas Terik Cerah Mendung Hujan Deras
 Hujan Gerimis Angin Kencang Badai Petir

B. DATA TRAFU PENGGANTI

1 Bahan Pabrik B&D 6 Daya Nominal 100 KVA
 2 Jenis Type DOUBLE POLE 7 Tegangan Nominal 20 000 Volt / 400 Volt
 3 Nomor Seri 1700074 8 Arus Nominal 144.5 AMP
 4 Tahun Pembuatan 2017 9 Jenis Minyak
 5 Tahun Operasi Pasang 2016 10 Arus Sekunder 151 9756839
 11 Tap Trafo

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

C. HASIL PENGUKURAN KOMPONEN UTAMA (Secara Visual)

1 Bushing Primer	Busuk - bh	7 Karet Bushing Trafo	Busuk / bh
2 Bushing Scunder	Busuk - bh	8 Karet Bushing Scunder	Busuk / bh
3 Thermometer	Tidak Ada	9 Silicon di Bushing	Tidak Ada
4 Gelas Penduga	Tidak Ada	10 Baut Bushing Primer	Longgar / bh
5 Minyak Trafo	Meretas	11 Baut Bushing Scunder	Longgar / bh
6 Batas / Level Minyak Trafo	Kurang	12 Body Trafo / Chasing	Gembung / Rusta

D. HASIL PEMASANGAN KELENGKAPAN GARDU / TRAFU (Secara Visual)

1 Fuse Link R : 5 A S : 5 A T : 5 A

2 Pentanahan L Arrester	BAIK	4 Ohm
3 Pentanahan Body	BAIK	5 Ohm
4 Pentanahan Netral	BAIK	5 Ohm
5 Jenis Kabel Trafo-LVC	NYFGBY	
6 Penampang Kabel Trafo-LVC	4X95 mm	

E. PENGUKURANTAHANAN ISOLASI

1 Tahanan Primer Body	R-Body	3000 Mohm	S-Body	3000 Mohm	T-Body	3000 Mohm
2 Tahanan Scunder Body	r-Body	3000 Mohm	s-Body	3000 Mohm	t-Body	3000 Mohm
3 Tahanan Primer-Primer	R - S	0 Mohm	R - T	0 Mohm	S - T	0 Mohm
4 Tahanan Scunder-Scunder	r - s	0 Mohm	r - t	0 Mohm	s - t	0 Mohm
5 Tahanan Primer-Scunder	R - r	3000 Mohm	S - s	3000 Mohm	S - t	3000 Mohm

F. HASIL PENGUKURAN BEBAN PADA SAAT TRAFU ENERGISE WBP / LWBP

Total Arus Beban per Fasa		Persentase Beban per Fasa terhadap Arus Nominal Trafo	
R	54 Amp	R	35.5 %
S	61 Amp	S	40.1 %
T	30 Amp	T	19.7 %
		Beban % 31.80	

G. ANALISA OPERASIONAL TRAFU :

-: Trafo pengganti kondisi baru dan terpasang dengan baik

NAMA PETUGAS PENGOPERASIONAL

No	Nama Petugas	Paraf	Jabatan	Catatan
1	Widiyo Pardede		Staff Teknik	Trafo terpasang dan beroperasi dengan baik

DIPERIKSA
SPY TEKNIK

AGIL RIZQAN THARO





PT PLN (PERSERO) WILAYAH SUMATERA UTARA
UP3 MEDAN UTARA
ULP MEDAN LABUHAN

DATA TRANSFORMATOR

Kode Gardu-No Trafo	ML506-1	Tegangan Primer L-L (KV)	20
Lokasi	JL.PSR I TENGAH MARELAN	Tegangan Sekunder L-L (Volt)	400
Feeder	PP02	Arus Primer (Amp)	2.9
Daya (kVA)	100	Arus Sekunder (Amp)	144.3
Posisi Tap	3/5	Jenis Minyak	Diala C
Fasa	3	Vektor Group	
No.Seri	1700074	Impedansi (%)	4
Merk	B & D - BARU	Temperatur (C)	

Pengaman Sekunder IN : NTFUSE 150 A Opstik Kabel Incoming : NYY 95 mm2 Konstruksi : SINGLE POLE DENGAN RAK
 Jumlah Jurusan : 2 Opstik Kabel Outgoing : NYY 70 mm2

PENGUKURAN

L W B P	JURUSAN OUTGOING							INCOMING	
	BARAT	UTARA	-	-	-	-	-	Amp	%
R (Amp)	6	29	0	0	0	0	0	35	24
S (Amp)	5	23	0	0	0	0	0	28	19
T (Amp)	7	11	0	0	0	0	0	18	12
N (Amp)	3	20	0	0	0	0	0	22	
BEBAN (%)	4	14	0	0	0	0	0		
W B P									
R (Amp)	4	54	0	0	0	0	0	58	40
S (Amp)	10	59	0	0	0	0	0	70	49
T (Amp)	13	19	0	0	0	0	0	33	23
N (Amp)	9	48	0	0	0	0	0	45	
BEBAN (%)	6	30	0	0	0	0	0		
TEG.UJUNG L-N (Volt)	210	210	0	0	0	0	0	BEBAN 36 % 36 kVA	
PENGHANTAR JTR	NTFUSE 100 A TIC 70 mm 167 m	NTFUSE 100 A TIC 70 mm 126 m							

Tegangan L-N (Volt)	L W B P	W B P
Pangkal	225	-
Cosphi	0.8	0.8
Tanggal Ukur	10-4-2019	27-11-2018
Petugas	PT.RPT	PT.RPT
Grounding (Ohm) : netral 10 body 12 arrester 11		

KETERANGAN
 N3 41.512 E98 39.323



DATA TRAFU PENGGANTI

A. DATA UMUM

1. Alamat Gardu Sesuai SIGD : JL. Reskam T 600 Rayon Card : **ML-323**
 2. Petugas Gangguan : LABUHAN 21 Penyulang : PP.2
 3. Hari / Tgl. Jam Perbaikan : JUMAT / 11 Mei 2018 3:05 WIB
 4. Cuaca Pada Lokasi : Panas Terik Cerah Mendung Hujan Deras
 Hujan Gerimis Angin Kencang Badai Petir

B. DATA TRAFU PENGGANTI

1. Buatan Pabrik : MORAWA 6. Daya Nominal : **160** KVA
 2. Jenis Type : DOUBLE POLE 7. Tegangan Nominal : 20.000 Volt / 400 Volt
 3. Nomor Seri : B12200743 8. Arus Nominal : **231.2** AMP
 4. Tahun Pembuatan : 2017 9. Jenis Minyak :
 5. Tahun Operasi Pasang : 2018 10. Arus Sekunder : 243.1610942
 11. Tap Trafo : 1 2 3 4 5

C. HASIL PENGUKURAN KOMPONEN UTAMA (Secara Visual)

1. Bushing Primer	<input type="checkbox"/> Baik 3 bh	<input type="checkbox"/> Rusak . bh	7. Karet Bushing Trafo	<input type="checkbox"/> Baik bh	<input type="checkbox"/> Rusak / bh
2. Bushing Scunder	<input type="checkbox"/> Baik 4 bh	<input type="checkbox"/> Rusak . bh	8. Karet Bushing Scunder	<input type="checkbox"/> Baik bh	<input type="checkbox"/> Rusak / bh
3. Thermometer	<input type="checkbox"/> Ada / Baik / Rusak	<input type="checkbox"/> Tidak Ada	9. Silicon di Bushing	<input type="checkbox"/> Ada / Baik / Rusak	<input type="checkbox"/> Tidak Ada
4. Gelas Penduga	<input type="checkbox"/> Ada / Baik / Rusak	<input type="checkbox"/> Tidak Ada	10. Baut Bushing Primer	<input type="checkbox"/> Terkunci bh	<input type="checkbox"/> Longgar bh
5. Minyak Trafo	<input type="checkbox"/> Tidak Menetas	<input type="checkbox"/> Menetas	11. Baut Bushing Scunder	<input type="checkbox"/> Terkunci bh	<input type="checkbox"/> Longgar bh
6. Batas / Level Minyak Trafo	<input checked="" type="checkbox"/> Cukup	<input type="checkbox"/> Kurang	12. Body Trafo / Chasing	<input checked="" type="checkbox"/> Baik	<input type="checkbox"/> Gembung / Rusak

D. HASIL PEMASANGAN KELENGKAPAN GARDU / TRAFU (Secara Visual)

1. Fuse Link : R : 5 A S : 5 A T : 5 A

2. Pentanahan L. Arrester	BAIK	4	Ohm
3. Pentanahan Body	BAIK	5	Ohm
4. Pentanahan Netral	BAIK	5	Ohm
5. Jenis Kabel Trafo-LVC	NYFGBY		
6. Penampang Kabel Trafo-LVC	4X95	mm	

E. PENGUKURANTAHANAN ISOLASI

1. Tahanan Primer Body	R-Body	3000 Mohm	S-Body	3000 M ohm	T-Body	3000 Mohm
2. Tahanan Scunder Body	r-Body	3000 Mohm	s-Body	3000 M ohm	t-Body	3000 Mohm
3. Tahanan Primer-Primer	R-S	0 Mohm	R-T	0 M ohm	S-T	0 Mohm
4. Tahanan Scunder-Scunder	r-s	0 Mohm	r-t	0 M ohm	s-t	0 Mohm
5. Tahanan Primer-Scunder	R-r	3000 Mohm	S-s	3000 M ohm	S-t	3000 Mohm

F. HASIL PENGUKURAN BEBAN PADA SAAT TRAFU ENERGISE WBP / LWBP

Total Arus Beban per Fasa		Persentase Beban per Fasa terhadap Arus Nominal Trafo	
R	90 Amp	R	37.0 %
S	95 Amp	S	39.1 %
T	87 Amp	T	35.8 %
		Beban %	
		37.29	

G. ANALISA OPERASIONAL TRAFU :

-: Trafo pengganti kondisi baru dan terpasang dengan baik

NAMA PETUGAS PENGOPERASIONAL

No	Nama Petugas	Paraf	Jabatan	Catatan :
1	Widiyo Pardede		Staff Teknik	- Trafo terpasang dan beroperasi dengan baik

DIPERIKSA
SPV. TEKNIK

DIKETAHUI
MANAJER



PT PLN (PERSERO) WILAYAH SUMATERA UTARA
UP3 MEDAN UTARA
ULP MEDAN LABUHAN

DATA TRANSFORMATOR

Kode Gardu-No Trafo	ML323-1	Tegangan Primer L-L (KV)	20
Lokasi	JL. RASKAM T.600	Tegangan Sekunder L-L (Volt)	380
Feeder	PP02	Arus Primer (Amp)	4.6
Daya (kVA)	160	Arus Sekunder (Amp)	243.1
Posisi Tap	3/5	Jenis Minyak	Esso 90
Fasa	3	Vektor Group	Yzn5
No.Seri	B12200743	Impedansi (%)	
Merk	MORAWA - BARU	Temperatur (C)	

Pengaman Sekunder IN : NTFUSE 150 A
Jumlah Jurusan : 2

Opstik Kabel Incoming : NYFGBY 95 mm2 Konstruksi : DOUBLE POLE
Opstik Kabel Outgoing : TIC 70 mm2

PENGUKURAN

L W B P	JURUSAN OUTGOING						INCOMING	
	BARAT 1	BARAT 2	-	-	-	-	Amp	%
R (Amp)	34	13	0	0	0	0	47	19
S (Amp)	24	22	0	0	0	0	46	19
T (Amp)	42	24	0	0	0	0	66	27
N (Amp)	18	9	0	0	0	0	24	
BEBAN (%)	14	8	0	0	0	0		
W B P								
R (Amp)	56	13	0	0	0	0	69	28
S (Amp)	57	48	0	0	0	0	105	43
T (Amp)	80	30	0	0	0	0	110	45
N (Amp)	34	25	0	0	0	0	36	
BEBAN (%)	27	13	0	0	0	0		
TEG.UJUNG L-N (Volt)	210	210	0	0	0	0		
PENGHANTAR JTR	NTFUSE 100 A TIC 70 mm 50 m	NTFUSE 100 A TIC 70 mm 50 m						
							BEBAN 40 % 64 kVA	

Tegangan L-N (Volt)	L W B P	W B P
Pangkal	225	-
Cosphi	0.9	0.87
Tanggal Ukur	27-3-2019	5-10-2018
Petugas	PT.RPT	PT.RPT
Grounding (Ohm) : netral 5 body 6 arrester 4		

KETERANGAN

PENGGANTIAN TRAFU MIMIR DAN PERBAIKAN
GROUNDING TGL 25 JULI 2018



DATA TRAFU PENGGANTI

A. DATA UMUM

1. Alamat Gardu Sesuai SIGD : JL. PASAR 2 TIMUR MARELAN Rayon Card : **ML.398**
 2. Petugas Gangguan : LABUHAN 21 Penyulang : PP.3
 3. Hari / Tgl. Jam Perbaikan : Selasa/ 10 Juli 2018 6:30 WIB
 4. Cuaca Pada Lokasi : Panas Terik Cerah Mendung Hujan Deras
 Hujan Gerimis Angin Kencang Badai Petir

B. DATA TRAFU PENGGANTI

1. Buatan Pabrik : SINTRA 6. Daya Nominal : **200** KVA
 2. Jenis Type : DOUBLE POLE 7. Tegangan Nominal : 20.000 Volt / 400 Volt
 3. Nomor Seri : 16061281 8. Arus Nominal : **289.0** AMP
 4. Tahun Pembuatan : 2016 9. Jenis Minyak :
 5. Tahun Operasi Pasang : 2018 10. Arus Secunder : 303.9513678
 11. Tap Trafo :

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

C. HASIL PENGUKURAN KOMPONEN UTAMA (Secara Visual)

1. Bushing Primer	Baik 3 bh	Rusak - bh	7. Karet Bushing Trafo	Baik bh	Rusak / bh
2. Bushing Scunder	Baik 4 bh	Rusak - bh	8. Karet Bushing Scunder	Baik bh	Rusak / bh
3. Thermometer	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada	9. Silicon di Bushing	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada
4. Gelas Penduga	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada	10. Baut Bushing Primer	Terkunci bh	Longgar bh
5. Minyak Trafo	Tidak Menetes	Menetes	11. Baut Bushing Scunder	Terkunci bh	Longgar bh
6. Batas / Level Minyak Trafo	Cukup	Kurang	12. Body Trafo / Chasing	Baik	Gembung / Rusak

D. HASIL PEMASANGAN KELENGKAPAN GARDU / TRAFU (Secara Visual)

1. Fuse Link : R : 6 A S : 6 A T : 6 A

2. Pentanahan L. Arrester	BAIK	5	Ohm
3. Pentanahan Body	BAIK	5	Ohm
4. Pentanahan Netral	BAIK	4	Ohm
5. Jenis Kabel Trafo-LVC	NYFGBY		
6. Penampang Kabel Trafo-LVC	4X95 mm		

E. PENGUKURANTAHANAN ISOLASI

1. Tahanan Primer Body	R-Body	: 3000 Mohm	S- Body	: 3000 M ohm	T - Body	: 3000 Mohm
2. Tahanan Scunder Body	r-Body	: 3000 Mohm	s - Body	: 3000 M ohm	t - Body	: 3000 Mohm
3. Tahanan Primer-Primer	R - S	: 0 Mohm	R - T	: 0 M ohm	S - T	: 0 Mohm
4. Tahanan Scunder-Scunder	r - s	: 0 Mohm	r - t	: 0 M ohm	s - t	: 0 Mohm
5. Tahanan Primer-Scunder	R - r	: 3000 Mohm	S - s	: 3000 M ohm	S - t	: 3000 Mohm

F. HASIL PENGUKURAN BEBAN PADA SAAT TRAFU ENERGISE WBP / LWBP

Total Arus Beban per Fasa		Persentase Beban per Fasa terhadap Arus Nominal Trafo	
R	: 272 Amp	R	: 89.5 %
S	: 255 Amp	S	: 83.9 %
T	: 148 Amp	T	: 48.7 %
		74.03	

G. ANALISA OPERASIONAL TRAFU :

--: Trafo pengganti kondisi baru dan terpasang dengan baik

NAMA PETUGAS PENGOPERASIONAL

No.	Nama Petugas	Paraf	Jabatan	Catatan : - Trafo terpasang dan beroperasi dengan baik
1	Widiyo Pardede		Staff Teknik	

DIPERIKSA
SPV. TEKNIK

DIKETAHUI
MANAJER

AGIL RIZQAN THARO

HENRI SITIO



PT PLN (PERSERO) WILAYAH SUMATERA UTARA
UP3 MEDAN UTARA
ULP MEDAN LABUHAN

DATA TRANSFORMATOR

Kode Gardu-No Trafo	ML398-1	Tegangan Primer L-L (KV)	20
Lokasi	JL.PASAR 2 TIMUR	Tegangan Sekunder L-L (Volt)	380
Feeder	PP02	Arus Primer (Amp)	5.8
Daya (kVA)	200	Arus Sekunder (Amp)	303.9
Posisi Tap	3/5	Jenis Minyak	Mineral
Fasa	3	Vektor Group	Yzn5
No.Seri	16061281	Impedansi (%)	4
Merk	SINTRA - BARU	Temperatur (C)	55

Pengaman Sekunder IN : NTFUSE A

Opstik Kabel Incoming : NYY 150 mm2

Konstruksi : DOUBLE POLE

Jumlah Jurusan : 3

Opstik Kabel Outgoing : NYY 95 mm2

PENGUKURAN

L W B P	JURUSAN OUTGOING						INCOMING	
	BARAT	TIMUR	TIMUR	-	-	-	Amp	%
R (Amp)	0	82	53	0	0	0	135	44
S (Amp)	0	93	37	0	0	0	130	43
T (Amp)	0	69	14	0	0	0	83	27
N (Amp)	0	30	40	0	0	0	65	
BEBAN (%)	0	28	12	0	0	0		
W B P				0	0	0	212	70
R (Amp)	0	126	87	0	0	0	203	67
S (Amp)	1	154	49	0	0	0	172	57
T (Amp)	0	148	24	0	0	0	105	
N (Amp)	1	71	55	0	0	0		
BEBAN (%)	0	48	18	0	0	0		
TEG.UJUNG L-N (Volt)	210	210	210	0	0	0		
PENGHANTAR JTR	NTFUSE 250 A TIC 70 mm 350 m	NTFUSE 250 A TIC 70 mm 250 m	NTFUSE 250 A TIC 70 mm 300 m					
							BEBAN 66 % 132 kVA	

Tegangan L-N (Volt)	L W B P	W B P
Pangkal	226	-
Cosphi	0.9	0.85
Tanggal Ukur	8-5-2019	8-5-2019
Petugas	PT.RPT	PT.RPT
Grounding (Ohm) : netral 19 body 19 arrester 19		

KETERANGAN

N3 41.817 E98 39.778



DATA TRAFU PENGGANTI

A. DATA UMUM

1. Alamat Gardu Sesuai SIGD : JL.PASAR 2 BARAT MARELAN Rayon Card : **ML.110**
 2. Petugas Gangguan : LABUHAN 21 Penyulang : PP.4
 3. Hari / Tgl. Jam Perbaikan : Jumat / 19 JANUARI 2018 1:55 WIB
 4. Cuaca Pada Lokasi : Panas Terik Cerah Mendung Hujan Deras
 Hujan Gerimis Angin Kencang Badai Petir

B. DATA TRAFU PENGGANTI

1. Buatan Pabrik : SCHNEIDER 6. Daya Nominal : **200** KVA
 2. Jenis Type : DOUBLE POLE 7. Tegangan Nominal : 20.000 Volt / 400 Volt
 3. Nomor Seri : 33173610069 8. Arus Nominal : **289.0** AMP
 4. Tahun Pembuatan : 2017 9. Jenis Minyak :
 5. Tahun Operasi Pasang : 2018 10. Arus Secunder : 303.9513678
 11. Tap Trafo :

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

C. HASIL PENGUKURAN KOMPONEN UTAMA (Secara Visual)

1. Bushing Primer	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>3</td><td>bh</td></tr><tr><td>Rusak</td><td>-</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	3	bh	Rusak	-	bh	7. Karet Bushing Trafo	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>bh</td></tr><tr><td>Rusak</td><td>/ bh</td></tr></table>	Baik	bh	Rusak	/ bh
Baik	3	bh											
Rusak	-	bh											
Baik	bh												
Rusak	/ bh												
2. Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>4</td><td>bh</td></tr><tr><td>Rusak</td><td>-</td><td>bh</td></tr></table>	Baik	4	bh	Rusak	-	bh	8. Karet Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>bh</td></tr><tr><td>Rusak</td><td>/ bh</td></tr></table>	Baik	bh	Rusak	/ bh
Baik	4	bh											
Rusak	-	bh											
Baik	bh												
Rusak	/ bh												
3. Thermometer	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada	9. Silicon di Bushing	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada						
Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada												
Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada												
4. Gelas Penduga	<table border="1"><tr><td>Ada / Baik / Rusak</td><td>Tidak Ada</td></tr></table>	Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada	10. Baut Bushing Primer	<table border="1"><tr><td>Terkunci</td><td>bh</td></tr><tr><td>Longgar</td><td>bh</td></tr></table>	Terkunci	bh	Longgar	bh				
Ada / Baik / Rusak	Tidak Ada												
Terkunci	bh												
Longgar	bh												
5. Minyak Trafo	<table border="1"><tr><td>Tidak Menetes</td><td>Menetes</td></tr></table>	Tidak Menetes	Menetes	11. Baut Bushing Scunder	<table border="1"><tr><td>Terkunci</td><td>bh</td></tr><tr><td>Longgar</td><td>bh</td></tr></table>	Terkunci	bh	Longgar	bh				
Tidak Menetes	Menetes												
Terkunci	bh												
Longgar	bh												
6. Batas / Level Minyak Trafo	<table border="1"><tr><td>Cukup</td><td>Kurang</td></tr></table>	Cukup	Kurang	12. Body Trafo / Chasing	<table border="1"><tr><td>Baik</td><td>Gembung / Rusak</td></tr></table>	Baik	Gembung / Rusak						
Cukup	Kurang												
Baik	Gembung / Rusak												

D. HASIL PEMASANGAN KELENGKAPAN GARDU / TRAFU (Secara Visual)

1. Fuse Link : R : 6 A S : 6 A T : 6 A

2. Pentanahan L. Arrester	BAIK	5	Ohm
3. Pentanahan Body	BAIK	5	Ohm
4. Pentanahan Netral	BAIK	6	Ohm
5. Jenis Kabel Trafo-LVC	NYFGBY		
6. Penampang Kabel Trafo-LVC	4X95 mm		

E. PENGUKURANTAHANAN ISOLASI

1. Tahanan Primer Body	R-Body : 3000 Mohm	S- Body : 3000 M ohm	T - Body : 3000 Mohm
2. Tahanan Scunder Body	r-Body : 3000 Mohm	s - Body : 3000 M ohm	t - Body : 3000 Mohm
3. Tahanan Primer-Primer	R - S : 0 Mohm	R - T : 0 M ohm	S - T : 0 Mohm
4. Tahanan Scunder-Scunder	r - s : 0 Mohm	r - t : 0 M ohm	s - t : 0 Mohm
5. Tahanan Primer-Scunder	R - r : 3000 Mohm	S - s : 3000 M ohm	S - t : 3000 Mohm

F. HASIL PENGUKURAN BEBAN PADA SAAT TRAFU ENERGISE WBP / LWBP

Total Arus Beban per Fasa		Persentase Beban per Fasa terhadap Arus Nominal Trafo		Beban %
R	: 198 Amp	R :	65.1 %	67.55
S	: 180 Amp	S :	59.2 %	
T	: 238 Amp	T :	78.3 %	

G. ANALISA OPERASIONAL TRAFU :

-: Trafo pengganti kondisi baru dan terpasang dengan baik

NAMA PETUGAS PENGOPERASIONAL

No.	Nama Petugas	Paraf	Jabatan	Catatan : Trafo terpasang dan beroperasi dengan baik
1	Widiyo Pardeda		Staff Teknik	

DIPERIKSA
SPV. TEKNIK

ANDRIAN PURNAWAN

DIKETAHUI
MANAJER

HENRI SITIO



PT PLN (PERSERO) WILAYAH SUMATERA UTARA
UP3 MEDAN UTARA
ULP MEDAN LABUHAN

DATA TRANSFORMATOR

Kode Gardu-No Trafo	ML110-1	Tegangan Primer L-L (KV)	20
Lokasi	JL.PSR 2 BARAT MARELAN	Tegangan Sekunder L-L (Volt)	380
Feeder	PP04	Arus Primer (Amp)	5.8
Daya (kVA)	200	Arus Sekunder (Amp)	303.9
Posisi Tap	3/5	Jenis Minyak	Mictrans B
Fasa	3	Vektor Group	Yzn5
No.Seri	33173610069	Impedansi (%)	4
Merk	SECHNEDER - BARU	Temperatur (C)	58

Pengaman Sekunder IN : NTFUSE 315 A

Opstik Kabel Incoming : NYFGBY 95 mm2 Konstruksi : DOUBLE POLE

Jumlah Jurusan : 3

Opstik Kabel Outgoing : TIC 70 mm2

PENGUKURAN

L W B P	JURUSAN OUTGOING					INCOMING		
	BARAT	TIMUR	SELATAN	-	-	-	Amp	%
R (Amp)	4	62	75	0	0	0	140	46
S (Amp)	9	46	69	0	0	0	125	41
T (Amp)	44	57	82	0	0	0	180	59
N (Amp)	34	14	27	0	0	0	65	
BEBAN (%)	6	19	26	0	0	0		
W B P								
R (Amp)	8	73	144	0	0	0	225	74
S (Amp)	20	74	103	0	0	0	200	66
T (Amp)	67	79	104	0	0	0	250	82
N (Amp)	58	37	71	0	0	0	128	
BEBAN (%)	11	26	40	0	0	0		
TEG.UJUNG L-N (Volt)	220	220	220	0	0	0		
PENGHANTAR JTR	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 300 m	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 350 m	NTFUSE 200 A TIC 70 mm 400 m					
							BEBAN 77 % 154 kVA	

Tegangan L-N (Volt)	L W B P	W B P
Pangkal	227	-
Cosphi	0.9	0.9
Tanggal Ukur	3-5-2019	3-5-2019
Petugas	PT.RPT	PT. RPT
Grounding (Ohm) : netral 20 body 20 arrester 20		

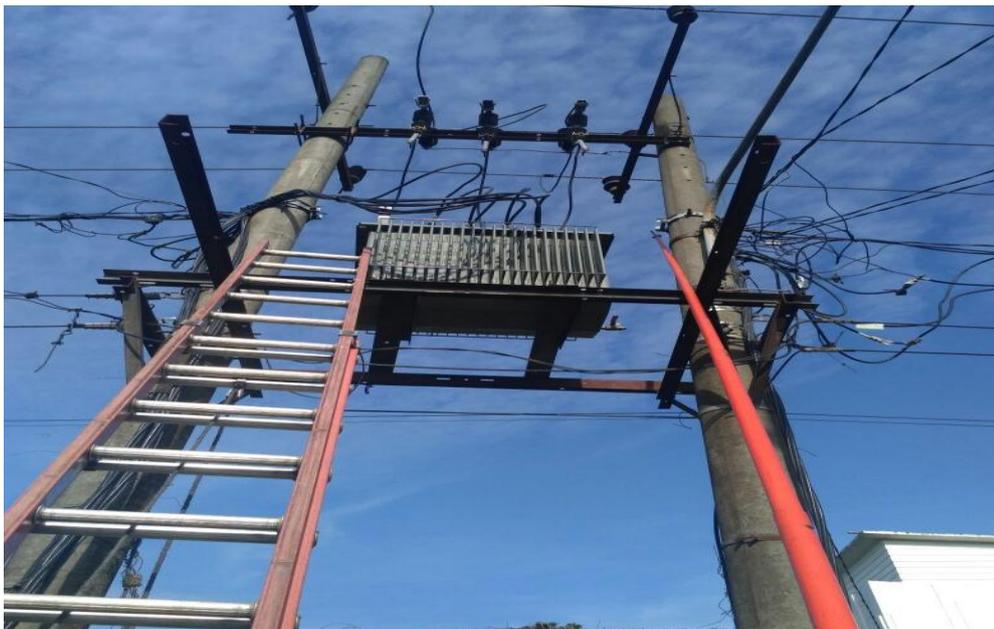
KETERANGAN

TRAFO KONTAK TGL 3-2-08 GANGGUAN PADA
BUSHING PRIMER PECAH

LAMPIRAN 4



Gambar Panel Transformator 160 kVA di Jalan Raskam T 600



Gambar Transformator Distribusi 160 kVA di Jalan Raskam T 600

LAMPIRAN 3

Ambiert temperature °C			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
Hot-spot temperature rise K			123	110	106	95	89	78	68	58
K₂₄	Distribution	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Power transformer	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,26	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Pembebanan Trafo Menurut IEC 60354

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI (*LOSSES*)

Mustaqim Arief Tarigan

1207220009

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Email : kangmus772@yahoo.com

ABSTRAK

Setiap sistem distribusi tenaga listrik selalu mengalami ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban ini biasanya terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik yang menggunakan jaringan listrik tegangan rendah. Hal ini disebabkan karena waktu penyalaan beban-beban yang tidak serempak oleh pelanggan (*konsumen*) tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban disetiap fasa (R,S,T) mengakibatkan arus mengalir di penghantar netral transformator. Arus yang mengalir di penghantar netral transformator ini mengakibatkan rugi-rugi (*losses*) yang akan merugikan PLN sebagai penyuplai tenaga listrik.

Dari hasil pengamatan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban disetiap fasa (R,S,T) maka semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral transformator sehingga rugi-rugi (*losses*) pada transformator akan meningkat.

Kata kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral Dan Rugi-Rugi

Latar Belakang

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut PT. PLN (Persero) selaku perusahaan penyedia listrik di Indonesia, dapat memenuhi ketersediaan tenaga listrik di Indonesia. Permasalahan utama yang dihadapi oleh PT. PLN (Persero) adalah mulai terjadinya krisis energi yang mengglobal. Dimana bahan bakar minyak ditingkat internasional terus meningkat. Hal ini menyebabkan PT. PLN (Persero) harus melakukan efisiensi di segala sektor. Salah satu langkah efisiensi yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) adalah menekan *losses* seminimal mungkin, baik *losses* secara teknis maupun non teknis agar dapat memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik.

Namun dalam pemenuhan kebutuhan listrik tersebut, sering terjadi pembagian beban yang tidak

merata/seimbang.

Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yang akan merugikan PT. PLN (Persero). Agar tercapai penyuplaian listrik yang stabil dan kontinuitas kepada konsumen, maka hal tersebut harus dapat diatasi.

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besar pembebanan pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
2. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
3. Menganalisis energi yang hilang (kWH) pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.

Batasan Masalah

1. Analisis yang dilakukan pada pengukuran pembebanan transformator, ketidakseimbangan beban transformator, arus netral, rugi-rugi (*losses*) pada transformator distribusi.
1. Analisis energi yang hilang (kWH) akibat arus yang mengalir pada penghantar netral transformator distribusi.
2. Penelitian data trafo berlangsung dari bulan januari sampai bulan juli di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.
3. Data teknis transformator distribusi 100 kVA, 160 kVA sampai 200 kVA.

Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat memindahkan dan mengubah tegangan dan arus bolak-balik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai yang sama maupun berbeda

besarnya pada frekuensi yang sama, melalui gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator 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 kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga atau aluminium yang dililitkan pada kaki inti transformator.

Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

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

Dengan :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer transformator (V)

I : arus jala-jala (A)

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

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

Dengan :

I_{FL} : arus beban penuh transformator (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder transformator (V)

Rugi-Rugi (*Losses*) Akibat Adanya

Arus Pada Penghantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi (*losses*). *Losses* pada penghantar netral transformator ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dengan :

P_N : *losses* pada penghantar netral transformator (watt)

I_N : arus yang mengalir di netral transformator (ampere)

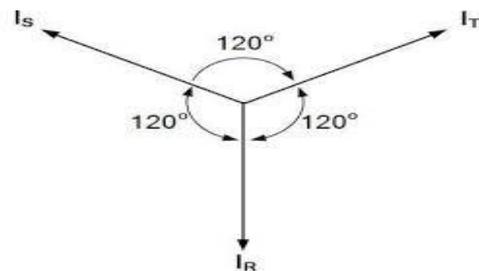
R_N : tahanan penghantar netral transformator (ohm)

Ketidakseimbangan Beban

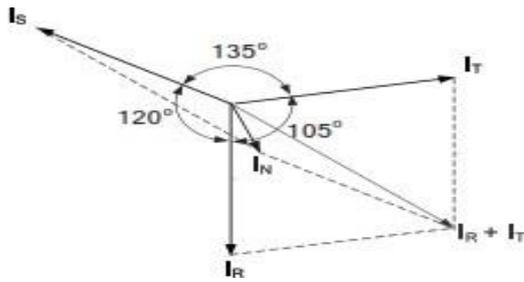
Beban dalam keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
2. 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. Gambar 2.23 memperlihatkan vector diagram arus.



(2.61)



Gambar 2.23 Vektor diagram arus

Penyaluran Dan Susut Daya Pada Transformator.

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada

Data Teknis Transformator Distribusi

- Gardu trafo distribusi 100 kVA
 - Lokasi : Jl. Paku T.600 Marelan
 - Kode gardu : MT 96 – 1
 - Tegangan sekunder : 400 V
 - Phasa : 3 fasa
 - arus primer : 2,9 A
 - Daya : 100 kVA
 - arus sekunder : 151,9
 - No seri : 1700074
 - minyak trafo : Diala B
 - Merk : B&D-Baru
 - impedansi : 4 %

penyaluran daya ini, arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 (V) (I) \cos \varphi$$

Dengan :

P : daya pada ujung kirim (watt)

V : tegangan pada ujung kirim (volt)

I : arus fasa (ampere)

$\cos \varphi$: faktor daya

Tegangan primer : 20 kV

temperatur : °C

Data Pengukuran Pembebanan

Pada Transformator

Distribusi 100 kVA di Jl.

Paku T.600 Marelan

Arus (Ampere)				Faktor Daya (cosφ)			Tegangan Sekunder Transformator (Volt)
R	S	T	N	R	S	T	
9	1	1	3	0,	0,	0,	R-N = 215,8
0	2	2	4	9	9	9	S-N = 215,4
	7	4		1	3	3	T-N = 213,2

Data Tahanan Kawat Penghantar Netral Transformator Distribusi

Ukuran kawat untuk penghantar netral transformator distribusi yang digunakan oleh PT.PLN (Persero) adalah 50 mm² dengan R = 0,6842 ohm/km, untuk ukuran kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan R = 0,5049 ohm/km. Sedangkan panjang kawat penghantar netral trafo untuk jaringan tegangan rendah di

asumsikan 1 km. Dengan demikian R_N = 0,6842 ohm.

Persentase Pembebanan

Transformator Distribusi 100

KVA Di Jl. Paku T.600

Marelan

$$S = 100 \text{ kVA}$$

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

Dari data, dapat dihitung arus beban penuh (*full load*) Transformator.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}}$$

$$= \frac{100000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_{FL} = 144,34 \text{ A}$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata pembebanan pada transformator adalah :

$$= \frac{62,3 \% + 87,9 \% + 85,9 \%}{3} = 78,7 \%$$

Jika dibandingkan dengan arus beban penuh transformator, maka arus yang mengalir pada kawat R, S dan T adalah :

$$= \frac{90 \text{ A} + 127 \text{ A} + 124 \text{ A}}{3} = 113,7$$

Ampere

Ini berarti transformator dapat dipasang/penambahan pelanggan arus dengan tidak melebihi arus beban penuh transformator yaitu :

$$= 144,34 \text{ A} - 113,7 \text{ A} = 30,6$$

Ampere

Persentase Ketidakseimbangan Beban Transformasi Distribusi 100 kVA Di Jl. Paku T.600 Marelan

Dengan menggunakan persamaan (2.63), (2.64) dan (2.65), koefisien a, b, dan c dapat dihitung.

$$I_R = a \times I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{90}{113,66} = 0,79$$

$$I_S = b \times I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{127}{113,66} = 1,11$$

$$I_T = c \times I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{124}{113,66} = 1,09$$

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

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{[0,79-1] + [1,11-1] + [1,09-1]\}}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ Ketidakseimbangan beban} = 13,7\%$$

Dari hasil analisis perhitungan diatas diperoleh bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebesar 13,7 %.

Dengan membandingkan dengan arus rata-rata, ini berarti bahwa ada :

$$= 113,66 \text{ A} \times 13,7\% = 15,5$$

Ampere

Arus yang tidak termanfaatkan ke pelanggan. Ini digunakan hanya untuk menyeimbangkan antara fasa R, S dan T.

Analisis Rugi-Rugi (Losses) Akibat

Adanya Arus Netral Pada

Penghantar Netral

Transformator.

Standard rugi-rugi beban (watt) maksimum pada transformator

distribusi berdasarkan **SPLN50:1997** adalah :

1. Transformator distribusi kapasitas 100 kVA : 1600 watt
2. Transformator distribusi kapasitas 160 kVA : 2000 watt
3. Transformator distribusi kapasitas 200 kVA : 2500 watt

Persentase Rugi-Rugi Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Paku T.600 Marelan

$$I_N = 34 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ Ohm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.61), rugi-rugi (losses) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu :

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

$$= (34)^2 \times 0,6842$$

$$P_N = 0,79 \text{ kW}$$

Dengan demikian, persentase rugi-rugi (losses) akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

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

$$= \frac{0,79}{67,69} \times 100\%$$

$$\% P_N = 1,16 \%$$

Dari hasil perhitungan, rugi-rugi beban pada transformator 100 kVA yaitu 790 watt (1,16%) ini masih berada dibawah standard SPLN50:1997 yaitu untuk transformator 100 kVA rugi-rugi beban yang dizinkan:

$$= 1600 \text{ watt} = 0,16 \text{ kw} \div 100 \text{ kVA} = (1,6\%).$$

Analisis Energi Yang Hilang (kWh) Akibat Arus Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Transformator.

Transformator Distribusi 100 kVA Di Jl. Paku T.600 Marelan

$$P_N = 790 \text{ watt}$$

Energi yang hilang perhari :

$$W = P \times t$$

$$W = 790 \text{ watt} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 18,96 \text{ kWh}$$

Energi yang hilang perbulan :

$$W = 790 \text{ watt} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$W = 568,8 \text{ kWh}$$

Dalam hal ini, diasumsikan bahwa rugi-rugi beban disetiap saat (setiap jam) adalah tetap, maka dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang hilang adalah sebesar 568,8 kWh/bulan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari data-data yang ada, maka dapat disimpulkan :

1. Pada transformator distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelان ketidakseimbangan bebannya paling besar (25 %) karena pembebanan yang tidak merata. Menyusul transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelان (22,7 %). Transformator distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelان (13,7 %). Transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelان (10,7 %) dan yang paling kecil pada transformator distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600 (3 %).
2. Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka arus yang mengalir pada penghantar netral transformator (In) semakin besar dan rugi-rugi (losses) yang ditimbulkan juga semakin besar. Pada transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelان dan transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelان rugi-rugi beban yang dihasilkan sudah melebihi standar yang diizinkan.
3. Energi yang hilang (kWh) pada transformator distribusi 100 kVA di Jl. Paku T.600 Marelان adalah (568,8 kWh/Bulan), transformator distribusi 100 kVA di Jl. Pasar 1 Tengah Marelان (238,3 kWh/Bulan), transformator distribusi 160 kVA di Jl. Raskam T.600 (283,6 kWh/Bulan), transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Timur Marelان (208 kWh/Bulan),

transformator distribusi 200 kVA di Jl. Pasar 2 Barat Marelan (208 kWh/Bulan).

DAFTAR PUSTAKA

- Berahim,Hamzah. (1991) *Pengantar Teknik Tenaga Listrik “Teori Ringkas dan Penyelesaian Soal”*.edisi pertama. Yogyakarta: Andi Offset.
- Elgerd,Olle I. (1983) *Electric Energy System Theory*.2ⁿ d edition. New delhi : McGraw-Hill Publishing Company.
- Fitzgerald,AE. (1992) *Mesin-Mesin Listrik*.Edisi ke-4.Jakarta : Erlangga
- Gonen,Turan. (1986) *Electric Power Distribution System Engineering*.International Edition.Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Kadir,Abdul. (1989) *Transformator*.Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Kadir,Abdul. (2000) *Distribution dan Utilisasi Tenaga Listrik*.Jakarta : UI Press.
- Michael,Neidle. (1999) *Teknologi Instalasi Listrik*.Edisi ke-3.Terjemahan Ir Sahat Pakpahan.Jakarta : Erlangga.
- Pabla,AS. (1983) *Electric Power Distribution System*.New Delhi : McGraw-Hill Publishing Company United.
- Sulasno,Ir. (1991) *Teknik Tenaga Listrik*.Semarang : Satya Wacana.
- Wijaya,Mochtar. (2001) *Dasar-Dasar Mesin Listrik*.Jakarta : Djambatan
- Zuhal. (1995) *Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.Edisi ke-5.Jakarta : Gramedia.
- Buhron,Hernadi.30 Oktober (2008) *Perhitungan Losses Pada Jaringan Tegangan Rendah*.<http://JendelaDistribusi.co.cc>.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Mustaqim Arief Tarigan
Panggilan : Mus
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 12 Desember 1994
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jalan Mangan V Link 13 Mabar
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Edi Samsul
Ibu : Sulastri
No. HP : 082364544612
E-mail : kangmus772@yahoo.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1207220009
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD Tut Wuri Handayani	2006
2	SMP	SMP Tut Wuri Handayani	2009
3	SMK	SMK PAB 1 Helvetia	2012
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2012 Sampai Selesai.		