

TUGAS AKHIR

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA *SOURCE* CONNECTION KAPAL MT.AIKATERINI DI PT. WARUNA SHIPYARD INDONESIA

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD FAUZI

1507220045



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fauzi
NPM : 1507220045
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada *Source Connection* Kapal MT.Aikaterini Di PT. Waruna Shipyards Indonesia.

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, 12, November 2020

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I



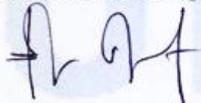
Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc

Dosen Pembimbing II



Rohana S.T., MT

Dosen Pembimbing I



Elvy Sahnur Nst S.T. M.Pd

Dosen Pembimbing II



Faisal Irsan Pasaribu S.T. M.T

Diketahui Oleh,

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu ST., MT

SURAT PERYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Fauzi
Tempat / Tanggal Lahir : Batu Bara, 10 April 1995
Npm : 1507220045
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujura, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada *Source Connection* Kapal MT.Aikaterini Di PT. Waruna Shipyard Indonesia. “

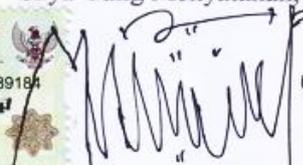
Bukan merupakan Plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan materian dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara Orisinil dan Otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ke tidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ke sarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan ke sadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademi di Gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .

Medan, Agustus 2020
Saya Yang Menyatakan,




MUHAMMAD FAUZI
1507220045

ABSTRAK

Setiap kapal yang melakukan perbaikan harus dipasang *Source connection* untuk mengurangi pemakaian bahan bakar dan mengurangi polusi serta getaran. *Source Connection* adalah sumber daya listrik yang disalurkan dari darat dengan menggunakan transformator distribusi sebagai pengganti sumber daya listrik dikapal. Beban puncak pada transformator terjadi diakibatkan semua beban dalam keadaan menyalah dan melebihi batas maximum transformator tersebut, sedangkan ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik terjadi diakibatkan oleh ketidakseimbangan pada beban-beban satu fasa, akibat dari keseimbangan tersebut munculnya arus di penghantar netral transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi, semakin besar ketidakseimbangan beban akan semakin besar pula rugi-rugi yang terjadi dan semakin besar rugi-rugi yang terjadi akan semakin kecil nilai efisiensi yang dihasilkan pada transformator tersebut. Dari perhitungan dan analisis yang dilakukan didapat hasil bahwa arus beban puncak terjadi pada malam yaitu sebesar 77%, serta ketidakseimbangan beban 42,3%, rugi-rugi terbesar terjadi pada sore yaitu sebesar 0,181% dan, efisiensi terbesar terjadi pada pagi hari yaitu sebesar 44%.

Kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, Beban Puncak, Rugi-rugi Daya, Efisiensi

ABSTRACT

Every ship carrying out repairs must have a Source connection installed to reduce fuel consumption and reduce pollution. Source Connection is a power source that is distributed from the land by using a distribution transformer as a substitute for the power source on the ship / generator. The peak load on the transformer occurs due to all loads in an error state and exceeds the maximum limit of the transformer, while load imbalance in an electric power distribution system occurs due to imbalance in single-phase loads, as a result of this balance the current appears in the transformer neutral conductor. The current that flows in neutral of this transformer causes losses, the greater the load imbalance, the greater the losses that occur and the greater the losses that occur, the smaller the resulting efficiency value on the transformer. The results show that the peak load current occurs at night, which is 77%, and the load imbalance is 42.3%, the biggest losses occur in the afternoon, which is 0.181% and the largest efficiency occurs in the morning, namely 44%.

Keywords: Load Imbalance, Peak Load, Power Losses, Efficiency

KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَانِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr,Wb.

Dengan nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang, segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul

“Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada *source Conection* Kapal MT.Aikaterini Di PT. Waruna Shipyard Iindonesia “ .

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun susunan kalimat yang mana penulis mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Dalam kesempatan ini, dengan segenap hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Ayahanda Zulkarnaen dan ibunda Nurhasanah tercinta yang telah memberikan bantuan moril maupun material serta kasih sayang yang tidak ternilai sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar,ST.MT, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST.MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST.MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Bapak Dr.Ir.Surya Hardi M.Sc, selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah sabar membimbing serta memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
6. Ibu Rohana ST.MT selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan ide-ide serta masukan dalam penulisan laporan tugas akhir.
7. Segenap Bapak dan Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Abangda Muhammad Rafiq ST selaku karyawan PT. Waruna Shipyard Indonesia. Yang telah membantu dan mendukung penulis mengumpulkan data sampai laporan tugas akhir ini selesai.
9. Segenab pimpinan serta karyawan PT. Waruna Shipyard Indinesia yang telah memberikan izin penulis untuk mengambil data yang diperlukan dan telah memberikan dukungan kepada penulis.
10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro khususya kelas A3 (malam) atas segala doa, masukan, serta saran yang berguna bagi penulis.
11. Serta semua pihak yang telah mendukung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengaharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Dan akhirnya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wasalamualaikum Wr.Wb.

Medan, Juli 2020

Penulis

MUHAMMAD FAUZI
1507220045

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	
ABSTRAK	i
ABTRAC.....	ii
KATA PENGHANTAR.....	Vii
DAPTAR GAMBAR.....	Viii
DAPTAR TABEL	iX
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relavan	6
2.2 Transformator	7
2.2.1 Prinsip Kerja Transformator.....	8
2.3 Jenis-Jenis Transformator.....	8
2.3.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan	9
2.3.2 Transformator Berdasarkan Fungsi	10
2.4 Transformator Distribusi	11
2.4.1 Kumparan	12
2.4.2 Inti Transformator	12
2.4.3 Minyak Transformator.....	13

2.4.4 Bushing Transformator.....	13
2.4.5 Tipe Pendingin Transformator	14
2.5 Hubungan Pada Transformator 3 fasa	14
2.5.1 Hubungan Bintang (Y)	15
2.5.2 Hubungan Segitiga/Delta	16
2.5.3 Hubungan Zig-zag	17
2.6 Tap Changer	19
2.7 Jaringan Distribusi.....	20
2.7.1 Jaringan Distribusi Menurut Besar Tegangan	21
2.7.2 Jaringan Distribusi Menurut Frekuensi	21
2.7.3 Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi	22
2.7.4 Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan	25
2.8 Daya Pada Saluran Distribusi.....	26
2.9 Arus Beban Penuh	27
2.10 Ketidakseimbangan Beban Transformator	28
2.11 Rugi-rugi Daya Transformator	29
2.11.1 Rugi-rugi Inti (Besi)	31
2.11.2 Rugi-rugi Tembaga (P_{cu})	31
2.12 Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator	32
2.13 Efisiensi Transformator	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	35
3.3 Prosedur Penelitian	36
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	37

BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Analisis Pengaruh Beban Puncak terhadap ketidakseimbangan beban.....	39
4.1.1 Perhitungan Arus Beban Puncak	42
4.1.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban	46
4.1.3 Analisis Beban Puncak Dan Ketidakseimbangan Beban	47
4.2 Analisis Rugi-rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban	48
4.2.1 Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Transformator Distribusi	51
4.2.2 Perhitungan Efisiensi Transformator Distribusi	54
4.2.3 Analisis Rugi-rugi Daya Dan Efisiensi Transformator Distribusi	55
 BAB 5 PENUTUP	 56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	57
 DAPTAR PUSTAKA	 59
LAMPIRAN.....	
LEMBAR ASISTENSI	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Teori Dasar Transformator	7
Gambar 2.2 Transformator Distribusi	11
Gambar 2.3 Inti Transformator	12
Gambar 2.4 Rangkaian Hubung Bintang.....	15
Gambar 2.5 Rangkaian Segitiga	16
Gambar 2.6 Rangkaian Hubungan Zig-zag	17
Gambar 2.7 Rangkaian Tap Changer	18
Gambar 2.8 Skema Jaringan Distribusi	20
Gambar 2.9 Jaringan Sistem Radial	23
Gambar 2.10 Jaringan sistem loop	23
Gambar 2.11 Jaringan Sistem Gred.....	24
Gambar 2.12 Jaringan Sistem Spindie.....	24
Gambar 2.13 Vektor Dalam Keadaan Seimbang.....	27
Gambar 2.14 Vektor Diagram Arus Dalam Tidak Seimbang	28
Gambar 3.1 Rangkaian PHB. Transformator Distribusi	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4.1 Grafik Arus Beban Puncak	42
Gambar 4.2 Grafik Ketidakseimbangan beban	46
Gambar 4.3 Grafik Rugi-rugi Daya.....	51
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Transformator Distribusi	54

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengukuran Arus dan Tegangan Transformator	39
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Arus Beban Puncak.....	42
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Beban	46
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya	50
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Efisiensi	54

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sedang melakukan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukung seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk di transportasikan dan di konversikan kedalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan *continiue* merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Namun semakin tinggi kebutuhan listrik semakin besar pula pengeluaran dan komsumsi bahan bakar minyak jenis tertentu, berdasarkan data badan pengelola hilir minyak dan gas bumi (BPH Migas), konsumsi solar mencapai 7,56 juta kilo liter(KL) pada januari–juni 2019 atau 52% dari kuota yang di tetapkan.[1]

PT. Waruna Shipyard Indonesia melakukan penghematan bahan bakar dengan memasang jaringan listrik dan menggunakan tranformator distribusi dari darat atau *source connection* untuk kapal yang bersandar atau melakukan perbaikan di dock WSI. *source connection* menggantikan sumber energi kapal yang sebelumnya menggunakan bahan bakar minyak menjadi sumber energi listrik. *source connection* dapat memberikan efisiensi biaya yang lebih hemat, berkisar kurang lebih 40%.[2]

Analisis ketidakseimbangan beban pada transformator perlu di lakukan agar dapat diketahui apa yang terjadi dengan ketidakseimbangan beban

transformator distribusi tersebut, mengetahui berapa besar rugi-rugi yang terjadi dan diharapkan agar dapat mengantisipasi supaya ketidakseimbangan tersebut dapat di minimalisir.

Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbul lah rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral dan rugi-rugi akibat arus netral yang mengalir ketanah. Untuk mengoptimalkan pembebanan daya listrik agar tidak ada daya yang hilang sia-sia, maka peneliti mengadakan penelitian tentang analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

Dari uraian latar belakang diatas, disusunlah tugas akhir ini dengan judul “ Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada *source Connection* Kapal MT.Aikaterini Di PT. Waruna Shipyard Indonesia” sebagai tempat studi kasus.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh beban puncak terhadap ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi di PT Waruna Shipyard Indonesia ?
2. Berapakah besar rugi-rugi daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban dan efesiensi pada Transformator Distribusi ?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis beban puncak terhadap ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi di PT .Waruna Shipyard Indonesia.

2. Menganalisis rugi-rugi daya dan efisiensi yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya membahas pengaruh beban puncak terhadap ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususya pada *source connection* MT. Aikaterini yang berada di dermaga dock Vii
2. Penelitian ini hanya membahas besaran rugi-rugi daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban dan efisiensi pada Transformator Distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususya pada *source connection* MT. Aikaterini yang berada di dermaga dock Vii.
3. Penelitian ini hanya membahas transformator distribusi pada *source connection* MT. Aikaterini yang berada di dermaga dock VII.
4. Penelitian ini tidak membahas transformator dan sistem kelistrikan yang ada di dalam kapal MT. Aikatarini yang berada di dermaga dock VII.
5. Serta penelitian ini tidak membahas keseluruhan transformator yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN.

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum tentang penulisan tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.

Bab ini membahas mengenai Tinjauan Pustaka Relevan, dan dasar-dasar teori yang mendukung terhadap ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi pada transformator Distribusi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian, di bab ini akan diuraikan tentang data transformator distribusi, diagram alir, serta waktu dan tempat penelitian

BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pada bab ini akan diuraikan tentang perhitungan beban puncak terhadap ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya serta efisiensi pada transformator distribusi berdasarkan hasil dan perhitungan.

BAB 5 PENUTUP.

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang terdapat pada penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian Julius Sentosa Setiadji, 1 Maret 2006, di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur. Dengan judul “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi” Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan beban tersebut adalah pada beban-beban satu fasa. Akibat dari ketidakseimbangan tersebut muncullah arus netral di trafo yang mengakibatkan terjadinya losses (rugi-rugi). Setelah di analisa, di peroleh bahwa ketidakseimbangan beban yang terjadi sebesar (28,67%), maka arus netral yang muncul juga besar (118,6 A), dan losses akibat netral yang mengalir ketanah semakin besar pula (8,62%).

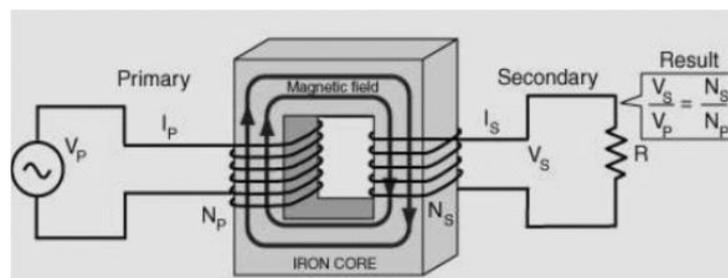
Penelitian Aprilian P. Kawihing, 2013, dengan judul “Pemerataan Beban Pada Saluran Distribusi Sekunder” perkembangan beban listrik di kairagi 2 khususnya di Perumahan Restika Permai sudah cukup tinggi. Kondisi demikian, mendorong untuk dilakukan pengaturan beban yang lebih baik. Untuk mencapai beban yang lebih baik, perlu dilakukan pemerataan beban di tiap fasa agar beban seimbang. Ketidakseimbangan beban di suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi. Penyambungan beban yang dilakukan, disaluran distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai cenderung kurang memperhatikan pola penyebaran antara ketiga fasa. Berdasarkan data hasil pengamatan diketahui bahwa Gardu MH 40 mengalami ketidakseimbangan beban. Kerugian daya yang paling besar pada siang hari adalah 15738,624 Watt, dan malam hari 32078,592 Watt.

Penelitian Nolki Jonal Hontang, 2015, dengan judul “Analisis Rugi–Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT.PLN (Persero) Palu” ketidakseimbangan beban pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi, dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada pengaturan beban-beban 1 Fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus netral pada trafo. Arus yang mengalir pada netral trafo ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi yaitu rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral. Akibatnya energi listrik pada sistem distribusi akan menyusut, susut tegangan akan mempengaruhi energi listrik pada konsumen. Setelah melakukan penelitian dan perhitungan terhadap jalur distribusi ditemukan susut tegangan sebesar, penyulang angrek 25,65% rugi-rugi daya 2,027kVA, penyulang matahari 14,98% rugi-rugi daya 315 kVA.

Penelitian Markus Dwiyanto Tobi sogen, ST. MT, 2018 dengan judul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Sorong” ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi selalu terjadi akibatnya adalah pada beban beban 1 fasa dan rugi-rugi yang terjadi akibat adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo. Berdasarkan data dan perhitungan ketidakseimbangan beban pada saat sebelum dilakukanya pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 28,33% dan sesudah dilakukan pekerjaan didapat hasil sebesar 6,67%. Nilai susut akibat arus netral sebelum dilakukanya pekerjaan adalah sebesar 1,71 kW/2,01%, dan setelah dilakukanya pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 0,84 kW/0,99%.

2.2 Transformator

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



Gambar 2.1 Teori Dasar Transformator.

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja Transformator adalah berdasarkan hukum *ampere* dan *faraday* yaitu “Arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik”. Jika salah satu kumparan pada trafo di aliri arus listrik, maka timbul gaya garis magnet yang berubah-ubah, Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet dari kumparan primer yang besarnya berubah-ubah dan di kumparan sekunder juga timbul induksi yang di akibatkan antara dua ujung kumparan terhadap beda tegangan. Jumlah garis gaya (*fluks*) yang masuk pada kumparan sekunder adalah sama dengan garis gaya yang keluar dari kumparan primer.

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

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

Jadi :

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

Dimana :

e_1 = Ggl induksi / tegangan sesaat pada tegangan primer.

e_2 = Ggl induksi / tegangan sesaat pada kumparan sekunder.

E_1 = Ggl induksi / tegangan efektif pada kumparan primer.

E_2 = Ggl induksi / tegangan efektif pada kumparan sekunder.

N_1 = jumlah lilitan kumparan primer.

N_2 = jumlah lilitan kumparan sekunder.

2.3 Jenis – Jenis Transformator

Tranformator atau trafo merupakan komponen paling utama di dunia kelistrikan, untuk mengantarkan listrik dari pembangkit yang besar dayanya bisa mencapai beberapa kilo Volt untuk kemudian disalurkan ke Transmisi atau Distribusi yang ada, kemudian akan disalurkan kembali dari trafo yang akan di kirim disetiap rumah-rumah. Trafo sendiri memiliki macam macam jenis antara lain adalah :

1. Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan.
2. Transformator Berdasarkan Fungsi.

2.3.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat di bedakan berdasarkan kumparan atau lilitanya menjadi :

1. Transformator satu belitan.

Transformator/Trafo satu belitan ini adalah lilitan primer merupakan bagian lilitan sekunder atau sebaliknya trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai “Auto trafo atau trafo hemat”.

2. Transformator dua belitan.

Transformator/Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana kumparan sekunder dan primer berdiri sendiri.

3. Transformator tiga belitan.

Transformator/Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan tersier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

2.3.2 Transformator Berdasarkan Fungsi

Menurut fungsinya Transformator dibagi atas :

1. Transformator Daya.

Transformator/trafo Daya adalah Trafo yang digunakan untuk pemasok daya. Trafo daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (*step-up*) dan menurunkan tegangan (*step-down*). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi. Trafo daya berfungsi sebagai *step-up* pada sistem dimana tegangan keluaran lebih tinggi dari pada tegangan masuk (misalnya pada pengiriman/penyaluran daya) dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai *step-down*

jika tegangan keluaran lebih rendah dari pada tegangan masukan (misalnya menerima/mengeluarkan daya).

2. Transformator Distribusi.

Transformator Distribusi pada dasarnya sama dengan trafo daya, bedanya adalah tegangan rendah pada trafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi. Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan. Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo *step-down* 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena sering terjadi *drop* tegangan maka JTR sering dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt.

3. Transformator ukur.

Pada umumnya trafo ini digunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V). Trafo ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin bisa diukur langsung oleh Amperemeter atau Volt Meter.

4. Transformator Elektronik.

Trafo ini prinsipnya sama seperti trafo daya, tapi kapasitas daya listrik sangat kecil, yaitu kurang 300 vA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik.

2.4 Transformator Distribusi

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



Gambar 2.2 Trafo Distribusi

Secara umum trafo ini terdiri dari :

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

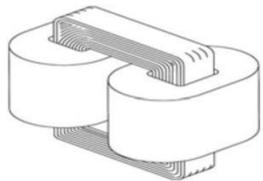
2.4.1 Kumparan

Transformator terdiri dari dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang mana jika salah satu kumparan pada trafo diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer

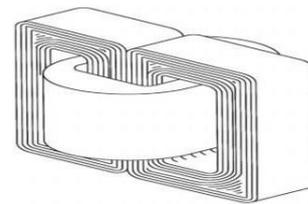
yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

2.4.2 Inti Transformator

Secara umum inti trafo terdiri dari dua tipe yaitu, tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Tipe inti dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi panjang dan kumparan trafonya dibelitkan pada dua sisi persegi. Sedangkan tipe cangkang di bentuk dari lapisan inti berisolasi dan kumparan trafonya dibelitkan dipusat inti. Trafo dengan tipe kondtruksi cangkang memiliki kehandalan yang lebih tinggi dari pada tipe konstruksi inti dalam menghadapi tekanan mekanis yang kuat pada saat terjadi hubung singkat.



A. Tipe Inti



B. Tipe Cangkang

Gambar 2.3 Inti Transformator A. Tipe Inti. B. Tipe Cangkang.

2.4.3 Minyak Tranformator

Pada transformator terdapat minyak yang memegang peranan penting dalam sistem pendinginan trafo untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya trafo dan juga sebagai sistem isolasi. Minyak trafo mengandung *naftalin*, *parafin* dan *aromatik*. Ada beberapa keuntungan minyak trafo sebagai isolasi antara lain :

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

Kekuatan *dielektrik* di defenisikan sebagai tegangan maksimum yang dibutuhkan untuk mengakibatkan *dielektrik break down* pada material yang dinyatakan dalam satuan Volt/meter. Dimana kekuatan dielektrik adalah ukuran kemampuan *elektrik* suatu material sebagai isolator.

2.4.4 Bushing Transformator

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

Bagian utama suatu *bushing* terdiri dari inti atau konduktor, bahan *dielektrik* dan *flans* yang terbuat dari logam. Inti berfungsi untuk menyalurkan arus dari bagian dalam peralatan ke terminal luar dan bekeja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan *flans*, *isolator* di ikatkan pada badan peralatan yang dibumikan.

2.4.5 Tipe Pendingin Transformator

Adapun tipe pendingin transformator yaitu :

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*).

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

2. ONAF (*Oil Natural Air Force*).

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

3. OFAF (*Oil Force Air Force*).

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

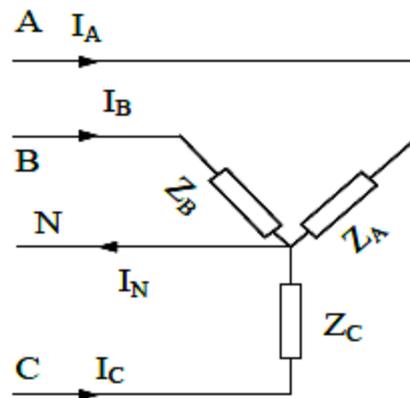
2.5 Hubungan Pada Transformator 3 fasa

Pada prinsipnya, transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan sistem listrik satu fasa dengan sistem listrik tiga fasa yaitu mengenal sistem bintang (y) dan delta (Δ), serta sistem zig-zag (z), dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator 3 fasa.

2.5.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator 3 fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan

ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus trafo 3 fasa dengan kumparan hubung bintang yaitu; I_A, I_B, I_C masing-masing berada 120° . Trafo 3 fasa hubungan bintang dari gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Rangkaian hubung bintang (Y)

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{Ph}$$

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

$$V_{L-L} = V_{Ph}$$

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan line to line (V).

V_{Ph} = Tegangan pisa (V).

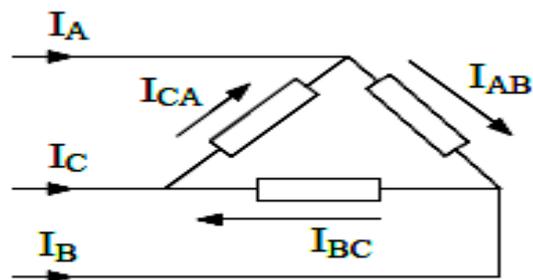
I_L = Arus line (A).

I_{ph} = Arus pisa (A).

2.5.2 Hubungan Segitiga/Delta (Δ)

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan trafo tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung

mula lilitan fasa kedua, akhir pasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir pasa ke tiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang di hubungkan segitiga yaitu V_A, V_B, V_C masing-masing berbeda 120° . Trafo 3 pasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar 2.5 dibawah ini di peroleh:



Gambar 2.5 Rangkaian segitiga/delta (Δ)

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{Ph}$$

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

$$V_{L-L} = V_{Ph}$$

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan line-line (Volt).

V_{Ph} = Tegangan fasa (Volt).

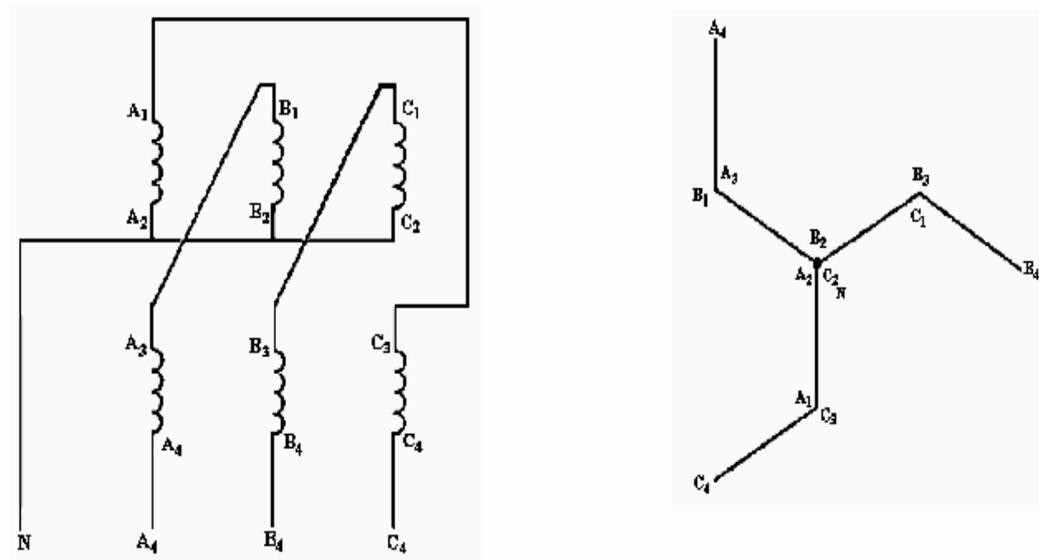
I_L = Arus line (Ampere).

I_{Ph} = Arus pasa (Ampere).

2.5.3 Hubungan Zig-zag

Transformator hubungan Zig-zag merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral. Pada trafo Zig-zag

masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan. Trafo 3fasa hubungan Zig-zag, perbandingan rugi-rugi untuk tiap kumparan yang terhubung Y, Δ , zig-zag liat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Rangkaian Hubungan Zig – zag

$$\{I^2 (R)\}_Y = \{1,0 \cdot (i_y)\}^2 \cdot P \cdot 1,0 \cdot \frac{L_Y}{A_Y}$$

$$\{I^2 (R)\}_\Delta = \{0,577 \cdot (i_y)\}^2 \cdot P \cdot 1,732 \cdot \frac{L_Y}{A_Y}$$

$$\{I^2 (R)\}_{ZZ} = \{1,0 \cdot (i_y)\}^2 = \{1,0 \cdot (I_V)\}^2 \cdot P \cdot 1,155 \cdot \frac{L_Y}{A_{ZZ}}$$

Dimana :

I_y = Arus pada kumparan yang terhubung Y.

R = Hambatan jenis tembaga.

L_Y = Panjang kumparan yang terhubung Y.

A_Y = Luas penampang kumparan yang terhubung Y.

A_Δ = Luas penampang kumparan yang terhubung Δ .

A_{ZZ} = Luas penampang kumparan yang terhubung Zig-zag.

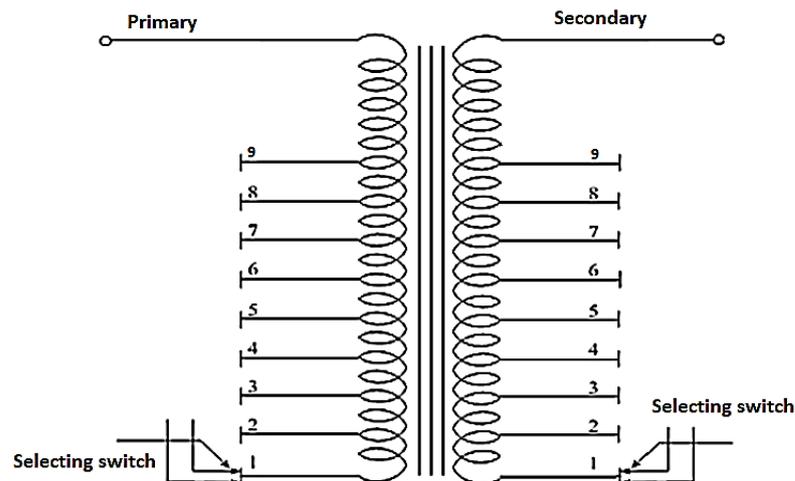
2.6 Tap Changer

Tap Changer atau pengubah tapping adalah suatu alat pengubah tegangan dengan mengubah rasio perbandingan belitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder akibat adanya perubahan tegangan pada sisi primer. Tegangan keluaran atau tegangan terminal konsumen dapat dikendalikan dengan pemasangan tapping pada sisi primer atau sisi sekunder transformator. Perubahan posisi tapping dikendalikan oleh tap changer. Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder. V_1 , N_1 dan V_2 , N_2 adalah parameter tegangan primer dan sekunder.

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (2 - 7).$$

$$V_2 = \frac{V_1}{N_1} \cdot N_2 \quad (2 - 8).$$

Tapping dapat di buat diawal, diakhir dan ditengah belitan transformator ditunjuk pada gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Rangkaian Tap Changer

Tap changer tanpa beban biasanya digunakan pada transformator distribusi dimana tegangan lebih stabil, sehingga pengaturan tappingnya dilakukan pada saat

pemasangan trafo ke dalam sistem tenaga listrik dan dalam waktu jangka lama. Suatu trafo, tapping dibuat pada sisi primer. Ketika semua belitan primer dalam rangkaian terhubung ke sumber tegangan sekundernya.

2.7 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu untuk klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya antara lain struktur jaringan radial, struktur jaringan *loop*, dan struktur jaringan *spindle*.

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

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

Secara umum distribusi dibagi menjadi 5 bagian yaitu :

1. Gardu Induk Distribusi.

Gardu induk distribusi adalah induk dimana terdapat transformator daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi (TT) menjadi tegangan menengah (TM).

2. PMT

PMT adalah alat pemutus tegangan listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik.

lambat laun akan di hapus, sedangkan sistem yang di kembangkan selanjutnya adalah 20 kV untuk jaringan tegangan menengah dan 220/440 V, 220/380 V untuk jaringan tegangan rendah .

2.7.2 Jaringan Distribusi Menurut Frekuensi

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

2.7.3 Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi

Berdasarkan dari segi konstruksi, jaringan distribusi dapat dibagi atas:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).

Saluran udara tegangan menengah banyak di pakai di kota-kota kecil ataupun kota besar yang bebannya kurang padat. Berdasarkan hal-hal di atas maka pemilihan tipe konstruksi yang cocok banyak tergantung pada kondisi dan permintaan konsumen.

2. Saluran Kabel Bawah Tanah (SKTM).

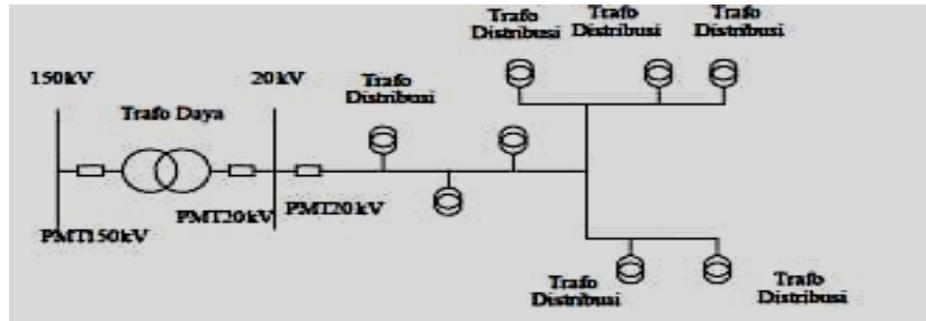
Saluran kabel bawah tanah adalah saluran tegangan menengah yang peletaknya ditanam di dalam tanah, walaupun sebenarnya saluran udara bila ditinjau dari segi teknis lebih ekonomis, sedangkan saluran kabel bawah tanah lebih menguntungkan ditinjau dari segi kurangnya jumlah gangguan keindahan.

2.7.4 Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan

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

1. Sistem *Radial*

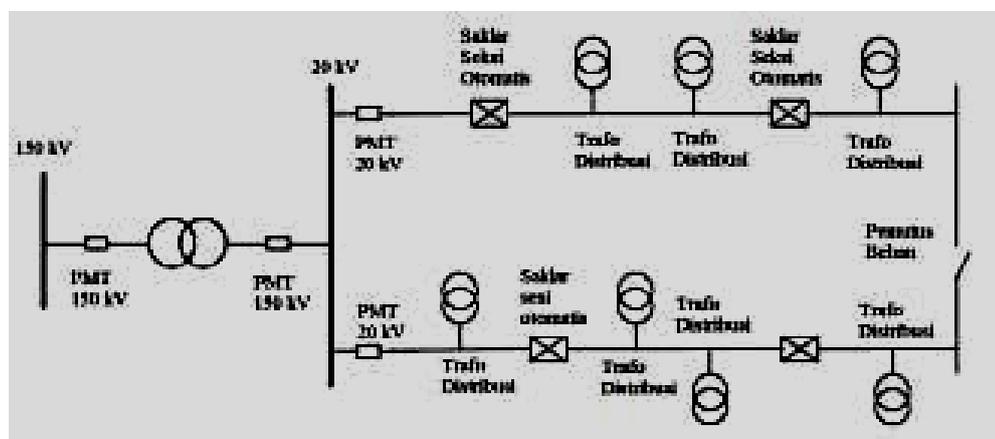
Sistem *radial* adalah konfigurasi jaringan primer dan setiap salurannya hanya mampu menyalurkan daya dari satu aliran daya. Sistem ini biasa di pakai untuk melayani daerah dengan tingkat kepadatan beban rendah. Dengan keuntungannya adalah kesederhanaan dari segi teknis serta biaya awal pembuatan lebih murah sedangkan kelemahannya adalah kontinuitas pelayanan tidak dapat dijamin dan apabila terjadi gangguan (terutama dekat dengan sumber), maka semua beban akan ikut terganggu hingga dapat diatasi, berarti terputusnya pelayanan kepelanggan dan rugi daya dan tegangan juga tinggi seperti pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Jaringan sistem radial

2. Sistem *loop*

Sistem konfigurasi *loop* adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya dan di kelilingi beban kemudin kembali ke titik rel daya semula. Jaringan konfigurasi biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kontinuitas dan pelayanan dengan baik (lebih baik dari sistem *radial*) serta banyak digunakan di daerah industri kecil,dan daerah komersil. Karena sistemnya berbentuk *loop* maka sering di gunakan sistem cincin gelang, dengan keuntungannya adalah gangguan akan dapat di lokalisir sekecil mungkin karena kedua ujung penyulang tersambung pada sumber sehingga pelayanan kontinuitas dapat dijamin seperti pada gambar 2.10 dibawah ini.

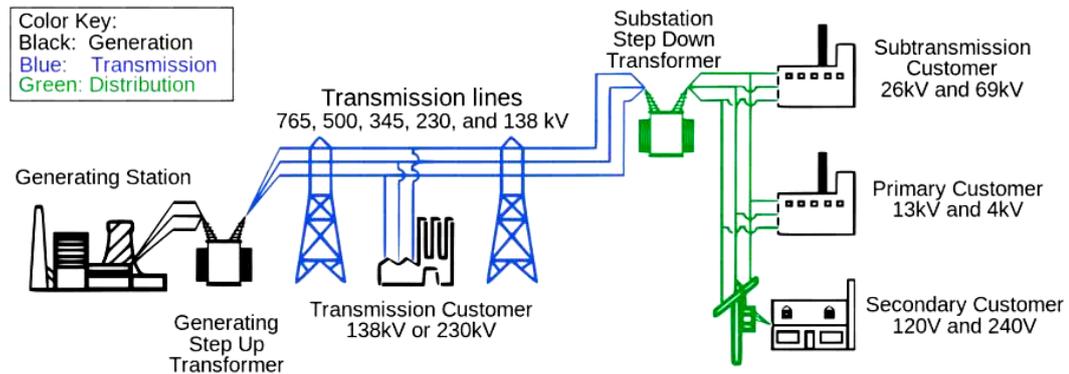


Gambar 2.10 jaringan sistem loop

3. Sistem *Grid* (*Network*)

Sistem *grid* adalah sistem yang mempunyai beberapa rel daya yang di

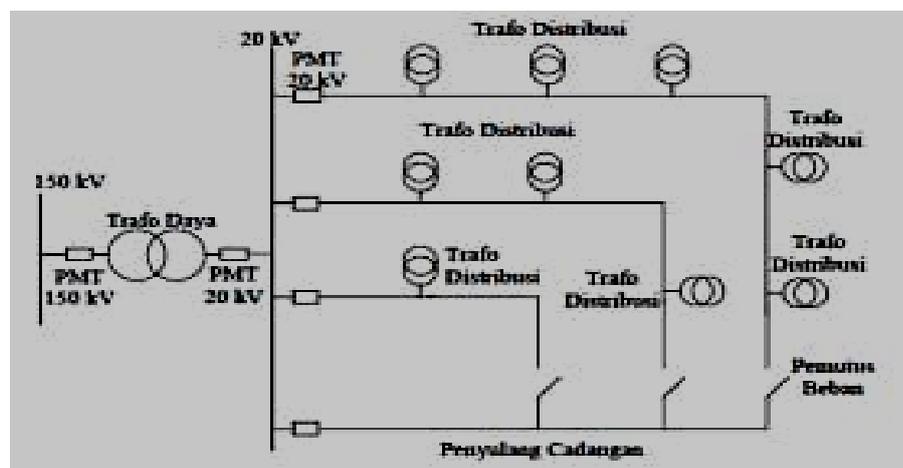
hubungkan dengan saluran *tie feeder* dan setiap gardu distribusi dapat menerima daya dari satu atau ke rel lain. Keuntungan dari sistem *grid* ini adalah kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola *radial* maupun *loop*. Fleksibilitas dalam menghadapi/mengantisipasi perkembangan beban sesuai dengan kerapatan tinggi seperti pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Jaringan sistem gred

4. Sistem *Spindle*

Sistem distribusi pola *spindel* merupakan pengembangan pola *radial* dan *loop* terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari satu gardu induk diarahkan menuju satu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara gardu induk dengan gardu hubung tersebut di hubungkan dengan satu saluran yang disebut *Feeder Express* seperti pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 jaringan sistem spindle

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

2.8 Daya Pada Saluran Distribusi

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

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \text{Cos } \varphi \quad (2-9)$$

Dimana :

P = daya pada ujung (W).

V = tegangan pada ujung (V).

Cos φ = faktor daya. (Ω)

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

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

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

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

Dimana I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

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

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

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

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

Dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$.

2.9 Arus Beban Penuh

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2-15)$$

Dimana:

S = daya trafo (kVA).

V = tegangan sisi primer (kV).

I = arus jala-jala (kA).

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

$$I_F = \frac{S}{3 \cdot V} \quad (2-16)$$

Dimana :

I_F = arus beban (A).

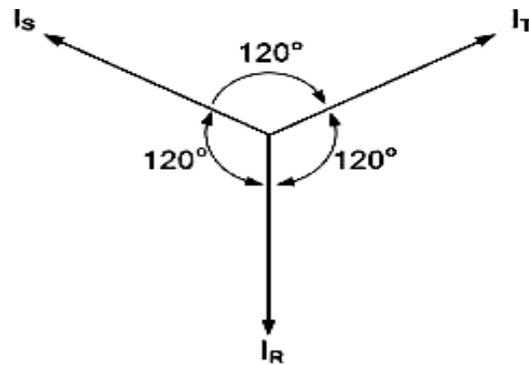
S = daya trafo (kVA)

V = sisi primer(kV)

2.10 Ketidakseimbangan Beban Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah keadaan dimana :

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



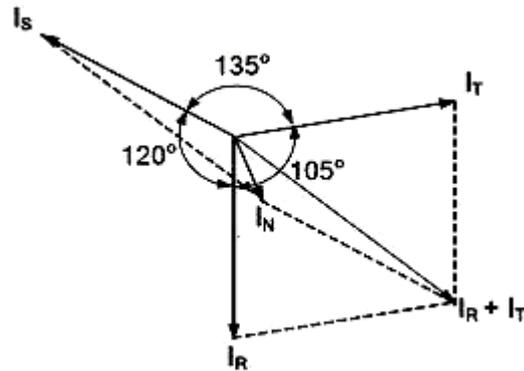
Gambar 2.13 vektor dalam keadaan seimbang

Pada gambar 2.13 menunjukkan vektor dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N)

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

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

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



Gambar 2.14 *Vektor* diagram arus dalam tidak seimbang.

Pada gambar 2.14 menunjukkan *vektor* diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga *vektor* arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

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

$$I_r = a.I \quad \text{Maka} \quad a = \frac{I_r}{I} \quad (2-17)$$

$$I_s = b.I \quad \text{Maka} \quad b = \frac{I_s}{I} \quad (2-18)$$

$$I_t = c.I \quad \text{Maka} \quad c = \frac{I_t}{I} \quad (2-19)$$

Dengan I_r , I_s , dan I_t berturut-turut adalah arus difasa R, S, dan, T. Koefisien a, b , dan c dapat diketahui besarnya, dimana pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b , dan, c adalah 1. Maka rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persen (%) adalah:

$$\frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \cdot 100\% \quad (2-20)$$

2.11 Rugi–rugi Daya Transformator

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

2.11.1 Rugi-rugi Inti (Besi)

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

$$P_i = P_h + P_e \quad (2-21)$$

Dimana :

P_i = rugi inti.

P_h = rugi *histerisis*.

P_e = rugi *eddy current*.

1. Rugi Histeris (P_h)

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

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m \text{ (Watt)} \quad (2-22)$$

Dimana

K_h = Konstanta *histerisis*.

F = Frekuensi.

B_m = Kerapatan *fluks* maksimum.

2. Rugi *Eddy Currents* (Arus Pusar)

Rugi-rugi ini disebabkan oleh arus yang terinduksi di inti. Adapun arus pusar ini di tentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan *fluks* magnetik. Pada dasarnya induksi tegangan di besi ini sama seperti transformator (dapat dianggap bahwa tiap lempeng besi adalah sekunder yang terhubung singkat), maka induksi di inti akan berbandingan dengan.

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

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ (Watt)} \quad (2-23)$$

Dimana:

P_e = rugi *eddy current*

K_e = konstanta

B_M = Kerapatan fluks maksimum

F^2 = frekuensi (Hz)

Jadi rugi inti adalah :

$$P_f = P_h + P_e = K_h \cdot F \cdot B_m + K_h \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (2-24)$$

Dimana:

P_f = rugi total inti.

F = frekuensi (Hz)

B_M = Kerapatan fluks maksimum

P_e = rugi eddy current

p_h = rugi histeris

k_h = konstanta

2.11.2 Rugi-rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi-rugi tembaga terjadi karena resistansi dalam belitan. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga menyebabkan arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga. Rugi-rugi tembaga ini dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \quad (2-25)$$

Dimana:

P_{cu} = rugi –rugi tembaga

I = arus (ampere).

R = tahanan (Ohm).

2.12 Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator

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

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

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2-26)$$

Dimana :

P_N = rugi netral penghantar trafo (φ)

I_N = arus netral trafo (Ampere)

R_N = tahanan netral penghantar trafo (ohm)

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

$$P_G = I_G^2 R_G \quad (2-27)$$

Dimana :

P_G = losses akibat arus netral yang mengalir ketanah

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah

R_G = tahanan pembumian netral trafo

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

Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Rugi daya aktif = $I^2 R$, R watt.
2. Rugi daya reaktif = $I^2 X$, X watt.
3. Rugi daya semu = $\sqrt{(I^2 R)^2 + (I^2 X)^2}$.

2.13 Efisiensi Transformator

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

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

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \% \quad (2-28).$$

$$P_{in} = P_{out} + \text{rugi-rugi} \quad (2-29).$$

Jadi:

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{out+rugi-rugi}} \cdot 100 \% \quad (2-30).$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluar (watt).

P_{in} = daya masuk (watt).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah, di PT. Waruna Shipyards Indonesia (Jalan Bagan Deli Medan Belawan) Pelabuhan Belawan, dan dilaksanakan pada tanggal 07 Mei 2020 s.d 11 Mei 2020.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit alat ukur Tang Ampere.
2. *Safety*/helm.
3. *Body Harness*
4. Lampu senter
5. Satu unit laptop asus A555L intel core i5
6. Satu unit kamera Hanpone merk oppo A 37.
7. Data Transformator Distribusi

Daya Pengenal = 400 kVA.

Frekuensi = 50 Hz.

Tegangan Primer = 380 V.

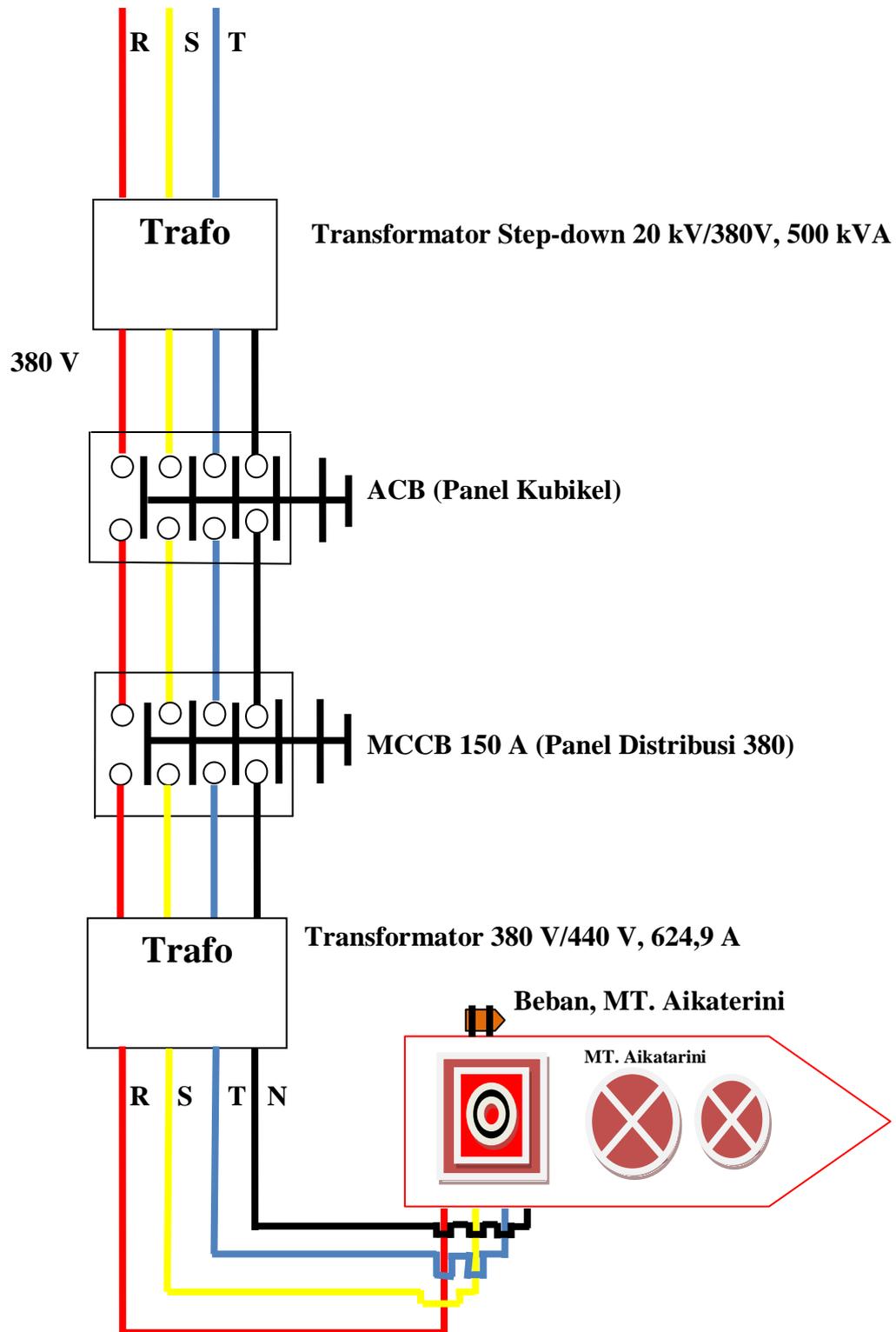
Tegangan Sekunder = 440 V.

Arus Primer = 607,7 A.

Arus Sekunder = 524,9 A

Cos ϕ = 0,85 Ω

8. Gambar Rangkaian PHB Transformator Distribusi

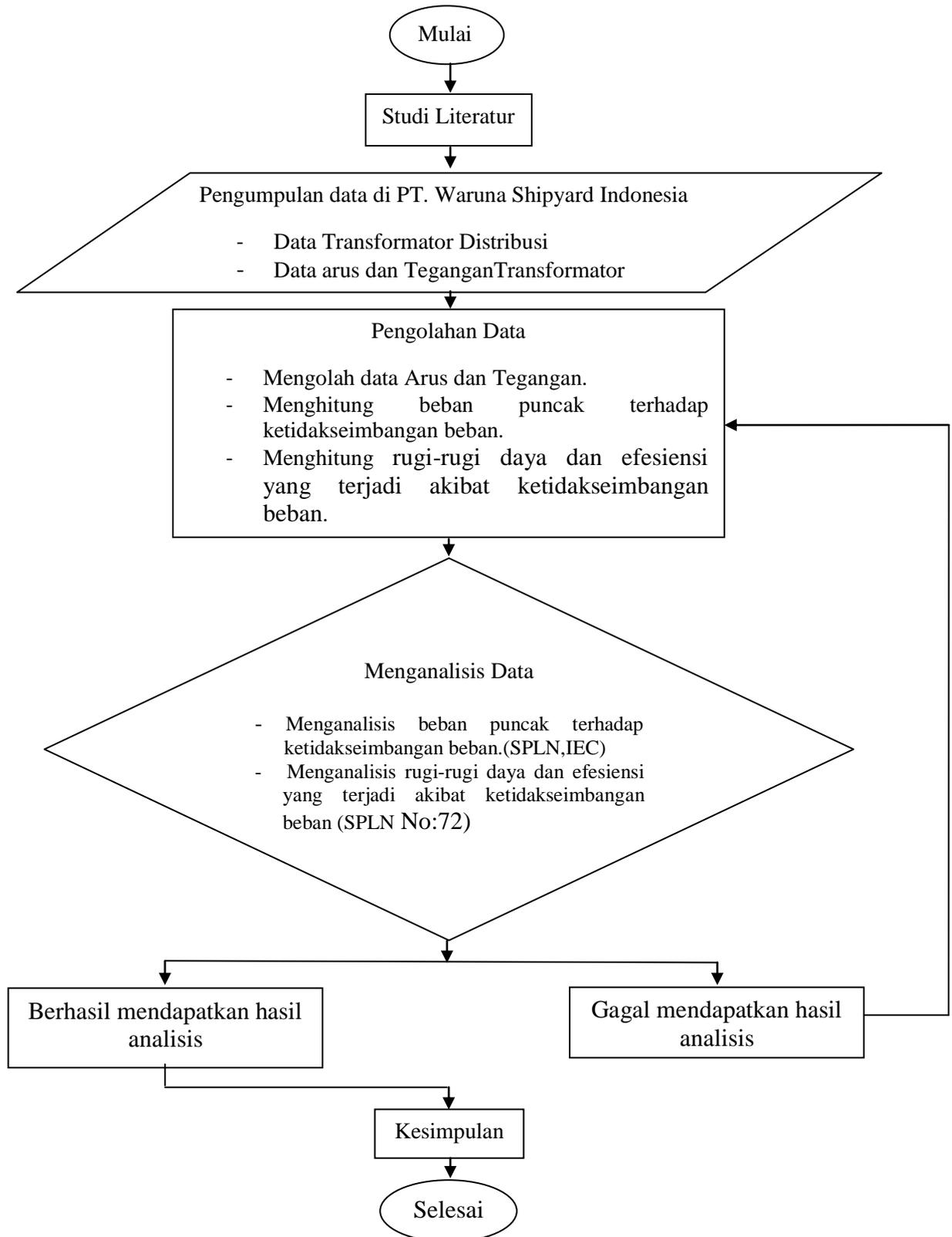
Transmisi 20 kV

Gambar 3.1 Rangkaian PHB Transformator Distribusi

3.3 Prosedur Penelitian

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

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Ketidakseimbangan Beban

Pada transformator, beban puncak sangat sering terjadi diakibatkan arus yang mengalir melebihi kapasitas yang telah ditetapkan. Menurut puil 2000 beban puncak yang sering terjadi yaitu pada sore dan malam hari. Jika hal ini terus-menerus terjadi maka trafo akan mengalami kerusakan, untuk itu harus ada penanganan secepatnya dengan cara mengurangi pemakaian beban pada waktu beban puncak terjadi. Sedangkan yang dimaksud dengan ketidakseimbangan beban adalah, arus yang mengalir di tiap-tiap fasa tidak sama besarnya dan tidak membentuk sudut 120^0 . Untuk mengetahui berapa besar beban puncak dan ketidakseimbangan beban yang terjadi pada tranformator distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia, khususya pada *source connection* MT. Aikaterini yang berada di dermaga dock VII, maka akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yang telah diperoleh dari PT. Waruna Shipyard Indonesia.

1. Data Transformator

Daya Pengenal	= 400 kVA.
Frekuensi	= 50 Hz.
Tegangan Primer	= 380 V.
Tegangan Sekunder	= 440 V.
Arus Primer	= 607,7 A.
Arus Sekunder	= 524,9 A
Cos φ	= 0,85 Ω

2. Tabel Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

Tabel 4.1 Pengukuran arus dan tegangan tranformator distribusi

Waktu	Fasa	Arus (A)	Tegangan (V)
Pagi (08. ³⁰ WIB)	R	225 A	438 A
	S	221 A	441 A
	T	235 A	433 A
	N	30 A	
Siang (13. ³⁰ WIB)	R	224 A	461 V
	S	219 A	412 V
	T	219 A	414 V
	N	33	
Sore (16. ⁰⁰ WIB)	R	210 A	416 V
	S	205 A	414 V
	T	173 A	412 V
	N	35 A	
Malam(20. ⁰⁰ WIB)	R	231 A	423 V
	S	230 A	426 V
	T	248 A	425 V
	N	34 A	

4.1.1 Perhitungan Arus Beban Puncak

Perhitungan arusbeban puncak transformator dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2-15), daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan sekunder dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana:

$$S = \text{Daya (vA)}$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

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

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

Dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh line (A).

S = Daya trafo (VA).

V_{L-L} = Tegangan Fasa-fasa (V).

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

$$I_{FL} = \frac{400000kV}{\sqrt{3} \cdot 440V} = \frac{400000kV}{762,10V} = 524,865 A$$

$$P = I \cdot V_{L-L} \cdot \sqrt{3} \cdot PF$$

$$P = 524,865A \cdot 440V \cdot 1,73 \cdot 0,85 = 339598,152 \text{ Watt} = 339,598 \text{ kW}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa arus beban penuh trafo adalah 524,865A atau 339,598kw Setelah arus beban penuh diperoleh baru didapatkan persamaan untuk menghitung arus rata-rata yaitu:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{aligned} 1. I_{\text{rata-rata pagi}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{225 + 221 + 235}{\sqrt{3}} = 393,1 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. I_{\text{rata-rata siang}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{224 + 219 + 219}{\sqrt{3}} = 382,2 A \end{aligned}$$

$$3. I_{\text{rata-rata sore}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{210+205+173}{\sqrt{3}} = 339,4 \text{ A}$$

$$4. I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{231+230+248}{\sqrt{3}} = 409,3 \text{ A}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa arus rata-rata terbesar terjadi pada malam hari yaitu sebesar 409,3 A. Setelah arus beban puncak diperoleh, selanjutnya akan dihitung persentase perbandingan arus rata-rata dan arus beban penuh dikali dengan 100% untuk mengetahui berapa persen pembebanan yang terdapat pada trafo distribusi, perhitungan ditulis dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \cdot 100\%$$

Jadi Persentase Beban Adalah :

1. Beban Pada Pagi Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \cdot 100\% = \frac{393,1A}{524,865A} \cdot 100\% = 74 \%$$

2. Beban Pada Siang Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \cdot 100\% = \frac{382,2A}{524,865A} \cdot 100\% = 72 \%$$

3. Beban Pada Sore Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \cdot 100\% = \frac{339,4A}{524,865A} \cdot 100\% = 64 \%$$

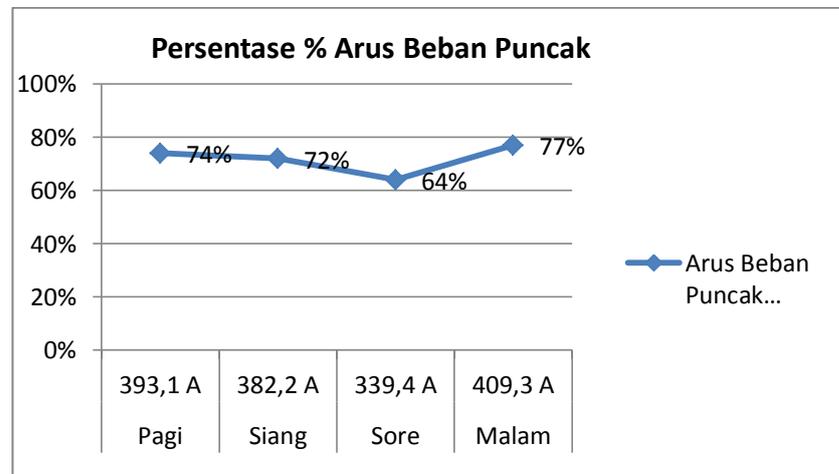
4. Beban Pada Malam Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \cdot 100\% = \frac{409,3A}{524,865A} \cdot 100\% = 77 \%$$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan arus beban puncak

Waktu	I_r (A)	I_s (A)	I_t (A)	$I_{rata-rata}$ (A)	Persentase (%)
Pagi	225 A	221 A	235 A	393,1 A	74 %
Siang	224 A	219 A	219 A	382,2 A	72 %
Sore	210 A	205 A	179 A	339,4 A	64 %
Malam	231 A	230 A	248 A	409,3 A	77 %

Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa arus yang mengalir di fasa R,S, dan T berbeda baik itu pagi, siang, sore, maupun malam hari. Berdasarkan tabel dapat dikatakan bahwa beban puncak pada trafo lebih besar terjadi pada malam hari yaitu sebesar 409,3 A atau 77%.



Gambar 4.1 Grafik Arus Beban Puncak

4.1.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Dari tabel 4.2 hasil perhitungan Arus beban puncak, dapat dilihat bahwa beban puncak yang terjadi yaitu pada malam, dan terlihat bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan persamaan rumus(2-20).

Dengan menggunakan koefisien ketidakseimbangan beban yaitu $a.b.c = 1$, maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_R = a.I \quad \text{jadi} \quad a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_S = b.I \quad \text{jadi} \quad b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_T = c.I \quad \text{jadi} \quad c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$

1. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Pagi

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{225 \text{ A}}{393,1 \text{ A}} = 0,572 \text{ A}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{221 \text{ A}}{393,1 \text{ A}} = 0,562 \text{ A}$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{235 \text{ A}}{393,1 \text{ A}} = 0,597 \text{ A}$$

Setelah didapat ketidakseimbangan beban maka akan dihitung berapa besar rata-rata ketidakseimbangan beban pada pagi dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3}$$

Jadi rata-rata ketidakseimbangan beban pagi adalah:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3} = \frac{0,572+0,562+0,597}{3} = 0,571 \text{ A.}$$

Setelah didapat rata-rata ketidakseimbangan beban maka akan dihitung berapa besar persentasi ketidakseimbangan beban. Pada keadaan seimbang, besaran koefisien a,b,dan c adalah 1 dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persen(%) dapat dirumuskan pada persamaan (2-20) sebagai berikut :

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \cdot 100\%$$

Jadi persentasi ketidakseimbangan beban pada pagi adalah :

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

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|0,572-1| + |0,562-1| + |0,597-1|\}}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(0,428+0,438+0,403)}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = 42,3\%$$

2. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Siang.

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{224A}{382,2A} = 0,586 \text{ A.}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{219A}{382,2A} = 0,572 \text{ A.}$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{219A}{382,2A} = 0,572 \text{ A.}$$

Jadi rata-rata ketidakseimbangan beban pada siang adalah

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3} = \frac{0,586A+0,572A+0,572A}{3} = 0,576 \text{ A.}$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban adalah :

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

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|0,586-1| + |0,572-1| + |0,572-1|\}}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{0,414+0,428+0,428\}}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = 42,3\%$$

3. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Sore.

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{210A}{339,4A} = 0,618 \text{ A.}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{205}{339,4A} = 0,604 \text{ A.}$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{173A}{339,4A} = 0,509 \text{ A.}$$

Jadi rata-rata ketidakseimbangan beban pada sore adalah

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3} = \frac{0,618A+0,604A+0,509A}{3} = 0,577 \text{ A.}$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban pada sore adalah :

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

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|0,618A-1| + |0,604A-1| + |0,509A-1|\}}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{0,382A+0,396A+0,491A\}}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = 42,3 \%$$

4. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Malam.

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{231A}{409,3A} = 0,564 \text{ A.}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{230A}{409,3A} = 0,561 \text{ A.}$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{248A}{409,3A} = 0,605 \text{ A.}$$

Jadi rata – rata ketidakseimbang beban pada malam adalah

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3} = \frac{0,564A+0,561A+0,605A}{3} = 0,576 \text{ A.}$$

Jadi presentase ketidakseimbangan beban pada malam adalah :

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

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|0,564A-1| + |0,561A-1| + |0,605A-1|\}}{3} \cdot 100\%$$

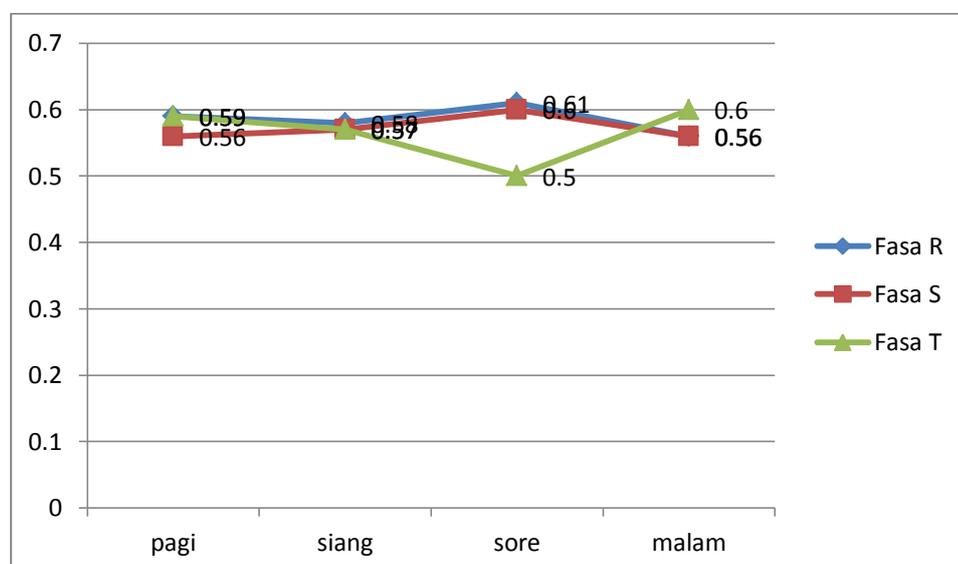
$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(0,436A+0,439+0,395A)}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = 42,3 \%$$

Tabel 4.3 Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban

Waktu	A	B	C	Ketidakseimbangan rata-rata	Persentase (%)
Pagi	0,572 A	0,562 A	0,597 A	0,571 A	42,3 %
Siang	0,586 A	0,572 A	0,572 A	0,576 A	42,3 %
Sore	0,618 A	0,604 A	0,509 A	0,577 A	42,3 %
Malam	0,564 A	0,561 A	0,605 A	0,576 A	42,3 %

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa transformator yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia, khususnya pada *source connection* kapal MT. Aikaterini di dermaga dock VII dalam keadaan tidak seimbang, namun ketidakseimbangan yang terjadi sangatlah kecil. Ketidakseimbangan rata-rata terbesar terjadi pada sore hari yaitu sebesar 0,577A, namun dalam perhitungan persentase didapat hasil yang sama besarnya yaitu 42,3%. Hal ini dikarenakan selisih ketidakseimbangan rata-rata pada pagi, siang, sore, dan malam sangat kecil atau selisih ampere tidak begitu besar.



Gambar 4.2 Grafik Ketidakseimbangan Beban

4.1.3 Analisis Beban Puncak dan Ketidakseimbangan Beban

Menurut SPLN 17:1979 tentang pedoman pembebanan transformator terendam minyak yang berbunyi. Berdasarkan publikasi IEC 76 (Bagian 1:Umum, ayat 2.1), transformator dirancang dengan syarat pelayanan antara lain bahwa untuk transformator pendingin-udara maka suhu udara tidak boleh melampaui:30⁰c (rata-rata harian), 20⁰c (rata-rata tahunan). Sehingga menurut SPLN 17:1979, sebaiknya trafo tidak dibebani sebesar 100%. Sedangkan menurut IEC 60354 yang berjudul "*loading guide for oil-inunersed power transformers*", menyesuaikan suhu normal di indonesia sebesar 30⁰c maka pembebanan trafo distribusi pendingin ONAN adalah sebesar 90%. Sehingga diambil batas pembebanan trafo adalah sebesar 90%.

Menurut IEC 60354 tentang ketidakseimbangan beban trafo, adapun batas ketidakseimbangan trafo (dalam%) yang ditetapkan yaitu sebesar 5%, sehingga apabila ditemukan ketidakseimbangan yang melebihi nilai tersebut maka harus diambil tindakan dengan cara pemerataan beban.

Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan pada transformator distribusi yang berada di PT.Waruna Shipyard Indonesia khususya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada didermaga dock VII, maka didapat hasil. Beban puncak yang terbesar terjadi pada malam yaitu sebesar 77%, dan ketidakseimbangan beban yang terjadi yaitu sebesar 42,3%. Dengan demikian tranformator distribusi yang berada di PT.Waruna Shipyard Indonesia khususya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada didermaga dock VII dalam keadaan normal/baik.

4.2 Analisis Rugi-rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban adalah, suatu keadaan dimana ketiga vector tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain, sebagai akibat ketidakseimbangan beban pada trafo tersebut mengalir arus dipenghantar netral, hal ini menyebabkan timbulnya rugi-rugi pada penghantar netral tersebut. Transformator memang tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%. Untuk mengetahui berapa besar rugi-rugi dan efisiensi yang terjadi pada transformator distribusi di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususnya pada *source* connection MT. Aikaterini yang berada di dermaga dock VII, maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yg di peroleh di PT. Waruna Shipyard Indonesia.

4.2.1 Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Transformator Distribusi

Adanya arus yang mengalir di netral trafo mengakibatkan rugi-rugi daya. Besarnya rugi-rugi daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan rumus (2-26) sebagai berikut:

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

Dimana:

$$P_N = \text{Rugi-rugi (W)}$$

$$I_N = \text{Arus Netral (A)}$$

$$R_N = \text{Tahanan Netral (\Omega)}$$

Besar rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator ini akibat arus yang mengalir di netral transformator adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Pagi

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

$$P_N = 30A^2 \cdot 0,5049\Omega = 454,41 \text{ Watt} = 0,454 \text{ kW.}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cdot \cos\phi = 400 \cdot 0,85 = 340 \text{ kW.}$$

Setelah diketahui besar rugi-rugi daya dan daya aktif, maka persentase rugi-rugi daya dapat dihitung dengan membandingkan rugi-rugi daya dengan daya trafo, perhitungan persentase dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\% \text{ Rugi-rugi} = \frac{P_N}{P} \cdot 100\%$$

Jadi persentase rugi-rugi daya aktif yang mengalir di Netral trafo pada pagi hari adalah :

$$\% \text{ Rugi-rugi} = \frac{P_N}{P} \cdot 100 \% = \frac{454,41 \text{ Watt}}{340,000 \text{ Watt}} \cdot 100 \% = 0,133\%.$$

2. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Siang

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

$$P_N = 33A^2 \cdot 0,5049\Omega = 549,8361 \text{ Watt} = 0,549 \text{ kW}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cdot \cos\phi = 400 \cdot 0,85 = 340 \text{ kW}$$

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

$$\% \text{ Rugi-rugi} = \frac{P_N}{P} \cdot 100 \% = \frac{549,8361 \text{ Watt}}{340,000 \text{ Watt}} \cdot 100 \% = 0,161 \%$$

3. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Sore

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

$$P_N = 35A^2 \cdot 0,5049\Omega = 618,5025 \text{ Watt} = 0,618 \text{ kW}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cdot \cos\varphi = 400 \cdot 0,85 = 340 \text{ kW}$$

Jadi persentasi rugi-rugi daya akibat daya yang mengalir di netral trafo pada sore hari adalah :

$$\% \text{ Rugi-rugi} = \frac{P_N}{P} \cdot 100 \% = \frac{618,5025 \text{ Watt}}{340,000 \text{ Watt}} \cdot 100 \% = 0,181 \%$$

4. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Malam

$$P_N = I_N^2 \cdot R_2$$

$$P_N = 34A^2 \cdot 0,5049\Omega = 583,6644 \text{ Watt} = 0,583 \text{ kW}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cdot \cos\varphi = 400 \cdot 0,85 = 340 \text{ kW}$$

Jadi persentase rugi – rugi daya akibat daya yang mengalir di netral trafo pada malam hari adalah :

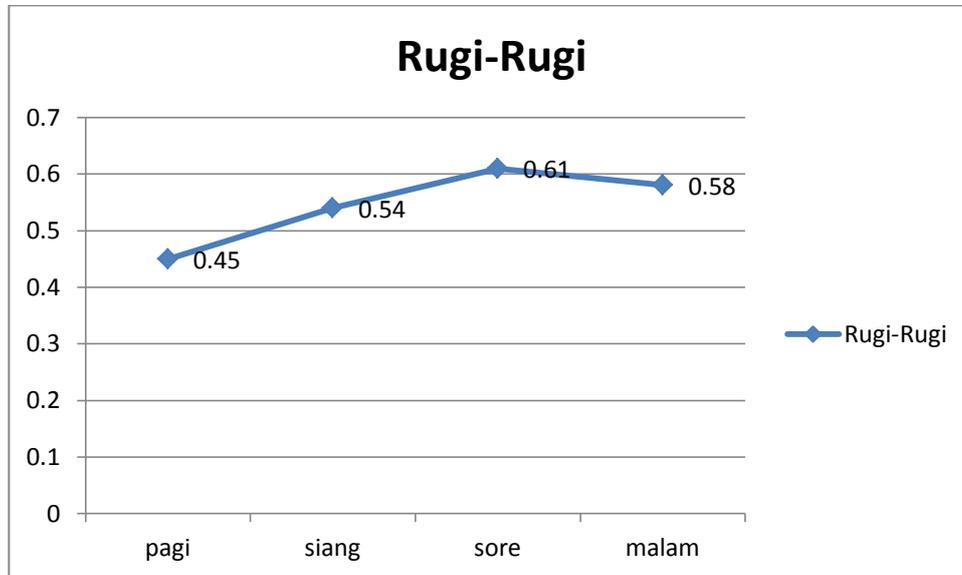
$$\% \text{ Rugi-rugi} = \frac{P_N}{P} \cdot 100 \% = \frac{583,6644 \text{ Watt}}{340,000 \text{ Watt}} \cdot 100 \% = 0,171 \%$$

Tabel 4.5 Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada transformator

Waktu	$R_N (\Omega)$	$I_N (A)$	$P_N (kW)$	Persentase(%)
Pagi	0,5049 Ω	30 A	0,454kW	0,133 %
Siang	0,5049 Ω	33 A	0,549 kW	0,161 %
Sore	0,5049 Ω	35 A	0,618 kW	0,181 %
Malam	0,5049 Ω	34 A	0,583 kW	0,171 %

Dari hasil analisa yang dilakukan dapat diketahui bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi maka akan semakin besar rugi-rugi daya pada trafo tersebut. Seperti yang dituliskan pada tabel 4.5 diatas terlihat bahwa

rugi-rugi daya lebih besar terjadi pada sore hari yaitu sebesar 0,618 kW atau 0,181%, hal ini terjadi karna ketidakseimbangan beban terbesar terjadi pada sore.



Gambar 4.3 Grafik Rugi-rugi Daya

4.2.2 Perhitungan Efisiensi Transformator Distribusi

Efisiensi adalah perbandingan daya masuk dan daya keluar. Perhitungan efisiensi perlu dilakukan agar dapat diketahui berapa besar daya yang hilang pada transformator distribusi. Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan rumus (2-28).

$$P_{\text{Out}} = (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\varphi$$

$$\eta = \frac{P_{\text{Out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_N} \cdot 100\%$$

Dimana :

$$\eta = \text{Efisiensi}(\%)$$

P_{out} = Daya keluar (kW).

P_{in} = Daya masuk (kW)

P_N = Rugi-rugi (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

1. Perhitungan Efisiensi Transformator Pada Pagi

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \\ &= (0,572A+0,562A+0,597A) \cdot 440V \cdot 0,571A \cdot 0,85\Omega \\ &= 369,661 \text{ Watt} = 0,369661kW \end{aligned}$$

Setelah diketahui berapa besar efisiensi daya maka akan dilakukan perhitungan persentase efisiensi trafo dengan persamaan rumus (2-30) sebagai berikut:

Jadi persentase efisiensi transformator pada pagi hari.

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,369661kW}{P_{out} + P_N} \cdot 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0,369661kW}{0,369661kW + 0,454kW} \cdot 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0,369661kW}{0,823661kW} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = 44 \%$$

2. Perhitungan Efisiensi Transformator Pada Siang

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \\ &= (0,586A+0,572A+0,572A) \cdot 440V \cdot 0,576A \cdot 0,85\Omega \\ &= 372,683 \text{ Watt} = 0,372683 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi persentase efisiensi transformstor pada siang hari adalah :

$$\% \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,372683 \text{ kW}}{P_{\text{out}} + P_N} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,372683 \text{ kW}}{0,372683 \text{ kW} + 0,549 \text{ kW}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,372683 \text{ kW}}{0,921683 \text{ kW}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = 40 \%$$

3. Perhitungan Efisiensi Transformator Pada Sore

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \\ &= (0,618 \text{ A} + 0,604 \text{ A} + 0,509 \text{ A}) \cdot 440 \text{ V} \cdot 0,577 \text{ A} \cdot 0,85 \Omega \\ &= 373,546 \text{ Watt} = 0,373546 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi persentase efisiensi transformator pada sore hari :

$$\% \eta = \frac{P_{\text{Out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,373546 \text{ kW}}{P_{\text{Out}} + P_N} \cdot 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0,373546 \text{ kW}}{0,373546 \text{ kW} + 0,618 \text{ kW}} \cdot 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0,373546 \text{ kW}}{0,991546 \text{ kW}} \cdot 100\%$$

$$\% \eta = 37 \%$$

4. Perhitungan Efisiensi Transformator Pada Malam

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \\ &= (0,564 \text{ A} + 0,561 \text{ A} + 0,605 \text{ A}) \cdot 440 \text{ V} \cdot 0,576 \text{ A} \cdot 0,85 \Omega \\ &= 372,683 \text{ Watt} = 0,372683 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi persentase efisiensi transformator pada malam hari adalah :

$$\% \eta = \frac{P_{\text{Out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,372683kW}{P_{Out} + \text{Cos}\phi} \cdot 100 \%$$

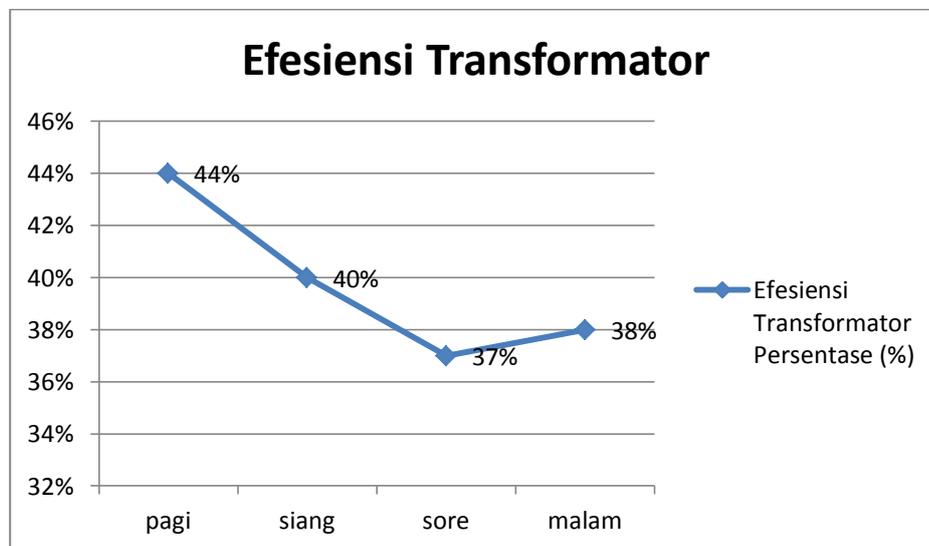
$$\% \eta = \frac{0,372683kW}{0,372,683kW + 0,583kW} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = \frac{0,372683kW}{0,955683kW} \cdot 100 \%$$

$$\% \eta = 38 \%$$

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Transformator Distribusi

Waktu	P _{in} (KW)	P _{out} (KW)	Efisiensi (%)
Pagi Hari	0,823661kW	0,369661kW	44%
Siang Hari	0,921683kW	0,372683kW	40%
Sore Hari	0,991546kW	0,373546kW	37%
Malam Hari	0,955683kW	0,372683kW	38%



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Transformator

Dari perhitungan efisiensi diatas dapat diketahui untuk memperoleh nilai efisiensi yang besar maka harus diusahakan rugi-rugi yang kecil. Pada penelitian kali ini efisiensi yang besar terjadi pada pagi hari yaitu sebesar 44% pada tabel 4. terlihat bahwa semakin kecil rugi-rugi maka akan semakin besar efisiensi pada transformator tersebut.

4.2.3 Analisis Rugi-rugi daya dan Efisiensi Transformator Distribusi

Menurut SPLN no.72 tahun 1987 berdasarkan standar rugi-rugi yang diperbolehkan yaitu sebesar 5%. Sehingga rugi-rugi daya aktif dapat ditekan sekecil mungkin tidak melebihi batas target yang ditentukan. Sedangkan untuk efisiensi transformator menurut SPLN no.72 berdasarkan standar efisiensi transformator yang diperbolehkan yaitu sebesar 95 %.

Dari hasil pengukuran dan perhitungan transformator distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususnya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada didermaga dock VII, rugi-rugi yang terbesar terjadi pada sore yaitu sebesar 0,181%, dan efisiensi terbesar terjadi pada pagi yaitu sebesar 40%, hal ini terjadi dikarenakan semakin kecil rugi-rugi maka akan semakin besar efisiensi yang dihasilkan. Dengan demikian transformator distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususnya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada didermaga dock VII dalam keadaan kurang baik, dikarenakan nilai efisiensi terlalu kecil.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa transformator distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususnya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada di dermaga dock VII dalam keadaan normal, dengan beban puncak yang dihasilkan sebesar 77% dan ketidakseimbangan sebesar 42,3% ,karna tidak melebihi batas standar yang telah ditetapkan oleh SPLN 17:1972, IEC 60354 yaitu sebesar: 90% dan IEC 60354 tentang ketidakseimbangan beban yaitu sebesar 5%.
2. Dari perhitungan dan analisis yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi sangat berpengaruh terhadap ketidakseimbangan beban, Dari hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan maka didapatkan rugi-rugi terbesar terjadi pada sore yaitu sebesar 0,181%, sedangkan efisiensi terbesar terjadi pada pagi yaitu sebesar 44%, dan kondisi transformator distribusi yang berada di PT. Waruna Shipyard Indonesia khususnya pada *source connection* kapal MT.Aikaterini yang berada didermaga dock VII dalam kurang baik dalam efisiensi karena jauh dari batas standar yang telah ditetapkan oleh SPLN no.72 tahun 1987 tentang rugi-rugi daya yaitu sebesar 5% dan efisiensi sebesar 95%.

5.2 Saran

1. Meskipun trafo dalam keadaan baik akan tetapi sebaiknya trafo tetap dilakukan pemeriksaan secara berkala, untuk menjaga performa trafo dan memastikan keadaan trafo dalam keadaan aman dari gangguan external maupun internal.
2. Besar harapan penulis agar penelitiannya dapat lebih dikembangkan lagi ,untuk penelitian selanjutya penulis mengharapkan penelitian ini dilakukan menggunakan *software ETAP Power Station*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, “Laporan Tahunan Capaian Pembangunan 2018,” *Kementeri. Energi dan Sumber Daya Miner.*, p. 43, 2018.
- [2] J. Ignacio and D. Orso, 2016.
- [3] J.Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [4]A. P. Kawihing, M. Tuegeh, L. S. Patras, and I. M. Pakiding, “Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder,” *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 2, no. 1, 2013, doi: 10.35793/jtek.2.1.2013.920.
- [5]D. Di and P. T. Pln, “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di Pt. Pln Palu,” *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 64–71, 2015, doi: 10.35793/jtek.4.1.2015.6739.
- [6] M. D. Tobi, “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong,” *Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, p. 5, 2018, doi:10.32531/jelekn.v4i1.80.
- [7] Emidiana and F. Saputra, “Pengujian Effisiensi Transformator Inti Ferrit,” *Ampere*, vol. 3, no. 2, pp. 157–165, 2018.

- [8]Mhd. Arifin Siregar, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Rayon Panam Pekanbaru,” p. 16, 2013.
- [9] J. Ohoiwutun, M. Dwiyanto, and T. Sogen, “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 100 kVA Pada PT . PLN (PERSERO) AIM,” vol. 5, no. 2, 2019.
- [10] P. T. Morawa, E. Transbuana, K. K. Transformator, and T. Changer, “e =– N,” vol. 3, no. 3, pp. 1–6, 2013.
- [11]A. Supriyadi, “Hubungan Pada Transformator Tiga Fasa,” vol. 07, no. 1.
- [12] P. A. Mertasana, Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Ka 0562 Pada Penyulang Uma Alas Laporan Penelitian Ir . Putu Arya Mertasana , M . Si , Mt Bukit Jimbaran, no. September. 2016.
- [13] D. A. N. Gedung and D. Fakultas, Terhadap Arus Kawat Netral Gedung E11. 2019.
- [14]D. S. W. Jayabadi, B. Winardi, and M. Facta, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 Gi Spondol Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan Etap 12.6.0,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 425–431, 2017, doi: 10.14710/TRANSIENT.5.4.425-431.
- [15] E. F. Teknik, “Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora,” 2018.

LAMPIRAN







TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Kampus Utama Umsu, Jln Kapt. Muchtar Basri No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 661059

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Muhammad Fauzi
NPM : 1507220045
JUDUL : Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada Shore Connection Kapal MT. AIKATARINI di PT. WARUNA SHIPYARD INDONESIA
ASISTENSI : Dosen Pembimbing II

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	23. Maret 2020	→ Perbaiki BAB I - Rumusan masalah - Tujuan	
2.	9. Juni 2020	→ Coper dan daftar isi - Bab I lengkapi !!! - Bab II lengkapi !!! → Rapihkan ketidakan dan jarat.	
3.	02. Juli 2020	→ Lengkapi BAB III Flowchart → Perbaiki BAB IV	
4.	19. Oktober 2020	→ Perbaiki BAB IV, IV → Daftar Pustaka ditambahkan → ANALISA ANALISA dan perhitungan di perbaiki	
5.	26. Oktober 2020	Ace ke pembimbing I.	

Dosen Pembimbing II

(Rohana, ST. MT.)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Kampus Utama Umsu, Jln Kapt. Muchtar Basri No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 661059

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Muhammad Fauzi
NPM : 1507220045 *perolisisforidiasari*
JUDUL : Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada Shore Connection Kapal MT. AIKATARINI di PT. WARUNA SHIPYARD INDONESIA
ASISTENSI : Dosen Pembimbing I

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	07 April 2020	Perbaiki BAB I Pendahuluan Latar belakang. Perbaiki rumusan masalah dan tujuan	#
2.	27 Agustus 2020	Perbaiki BAB II Lengkapi BAB II Lengkapi rumus data TRFU, arus dan Teg. lainnya.	#
3.	30 Agustus 2020	Perbaiki BAB II rapkan Penulisan Perbaiki BAB III Diagram alir Data Pengukuran dan data trafo	#
4.	7 September 2020	Perbaiki BAB IV dan lengkapi Analisa perhitungan beban puncak, ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya	#
5.	29 Oktober 2020	Perbaiki BAB IV dan lengkapi. Perbaiki BAB V dan lengkapi kesimpulan saran dan daftar pustaka	#
6.	26 Oktober 2020	<i>Ace Sidang</i>	

6. 26 Oktober 2020

Ace Semingar 26/10/20
#

Dosen Pembimbing I

(Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc.)