

TUGAS AKHIR

ANALISIS EFISIENSI TRANSFORMATOR SHORE CONNECTION DOCK VII PT WARUNA SYIPYARD INDONESIA

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

FAJAR FATHAM MUBINA
2107220075



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fajar Fatham Mubina

NPM : 2107220075

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Efisiensi Transformator *Shore Connection Dock VII*
PT. Waruna Shipyard Indonesia

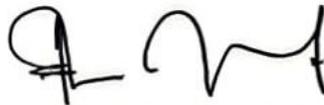
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik

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, 15 September 2025

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd

Dosen Pembanding I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T

Dosen Pembanding II



Sudirman Lubis, S.T., M.T



Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fajar Fatham Mubina

Tempat / Tanggal Lahir : Teluk Panji II / 18 Juli 2001

NPM : 2107220075

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Analisis Efisiensi Transformator Shore Connection Dock VII PT. Waruna Shipyard Indonesia”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil 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 / keserjanaan saya

Demikian surata 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, 15 September 2025

Saya yang menvatakan,



METERAL
TEMPEL
DE0FCAJX849650636 Fajar Fatham Mubina

Fajar Fatham Mubina

ABSTRAK

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berperan penting dalam menjaga kualitas penyaluran energi, efisiensi, serta keandalan sistem. Dalam konteks industri maritim, khususnya pada fasilitas Shore Connection di pelabuhan, transformator memegang peranan strategis karena digunakan untuk menyalurkan daya listrik dari darat ke kapal ketika berlabuh dengan mesin bantu dalam kondisi mati. Efisiensi transformator menjadi faktor krusial, sebab tingginya rugi daya dapat memengaruhi biaya operasional, keandalan pasokan, dan umur pakai peralatan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efisiensi transformator Shore Connection Dock VII di PT. Waruna Shipyard Indonesia. Tujuan utama penelitian adalah mengetahui besarnya rugi daya, persentase beban, serta tingkat efisiensi transformator pada berbagai kondisi operasional. Metode penelitian yang digunakan adalah pengumpulan data arus dan tegangan melalui pengukuran langsung pada tiga periode operasional harian, yaitu pagi, siang, dan malam. Data tersebut kemudian dihitung untuk memperoleh daya semu, persentase pembebanan, rugi daya total, serta efisiensi transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada pagi hari sebesar XX kVA dengan rugi daya total XX kW dan efisiensi XX%. Pada siang hari beban turun menjadi XX kVA dengan rugi daya XX kW dan efisiensi XX %, sedangkan pada malam hari beban naik menjadi XX kVA dengan rugi daya XX kW dan efisiensi XX %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa transformator beroperasi stabil dengan efisiensi di atas XX % pada semua kondisi, mampu menjaga kualitas distribusi daya meskipun terjadi fluktuasi beban, serta berpotensi memiliki umur pakai yang panjang apabila didukung dengan pemeliharaan rutin dan manajemen distribusi yang baik.

Kata kunci: Transformator, *Shore Connection*, Efisiensi, Rugi Daya, PT. Waruna Shipyard Indonesia.

ABSTRACT

Transformers are one of the main components in the electrical distribution system, playing an important role in maintaining energy transmission quality, efficiency, and system reliability. In the maritime industry context, particularly in Shore Connection facilities at ports, transformers hold a strategic role as they are used to supply electrical power from shore to ships while berthed with auxiliary engines shut down. Transformer efficiency is a crucial factor, as high power losses can affect operational costs, supply reliability, and equipment lifespan. This study was conducted to analyze the efficiency of the Shore Connection Dock VII transformer at PT. Waruna Shipyard Indonesia. The main objective is to determine the amount of power losses, load percentage, and transformer efficiency under different operating conditions. The research method involved collecting current and voltage data through direct measurements during three daily operating periods, namely morning, afternoon, and evening. The data were then calculated to obtain apparent power, load percentage, total power losses, and transformer efficiency. The results show that the peak load occurred in the morning at XX kVA with a total power loss of XX kW and an efficiency of XX %. In the afternoon, the load decreased to XX kVA with a total power loss of XX kW and an efficiency of XX %, while in the evening, the load increased to XX kVA with a total power loss of XX kW and an efficiency of XX %. From these results, it can be concluded that the transformer operates stably with an efficiency above XX % under all conditions, capable of maintaining power distribution quality despite load fluctuations, and has the potential for a long service life if supported by regular maintenance and proper distribution management.

Keywords: Transformer, Shore Connection, Efficiency, Power Loss, PT. Waruna Shipyard Indonesia.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu dengan sempurna, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah, atas rahmat dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “ANALISIS EFESIENSI TRANSFORMATOR SHORE CONNECTION DOCK VII PT WARUNA SHIPYARD INDONESIA” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah Subhanahu Wata`ala yang telah memijabah doa doa ku yang mempermudah segala jalan menuju tujuan duniawi ini.
2. Ayahanda Asadi, Ibunda Jumirah, serta Kakak Raihana Zakiyah, dan abang ipar Deni syahputra yang senantiasa memberikan cinta, dukungan moral, dan materi tanpa henti, juga tidak lupa para keponakan saya Elif dan Arniza yang menghibur. Terima kasih atas doa, nasihat, dan kasih sayang yang tiada habisnya.
3. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal, M.Sc., Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Benny Oktrialdi S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd, yang dengan sabar telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.
10. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
11. Terima kasih kepada teman teman saya Agil Fitriansyah, Imam Al Hafiz, Dai Rinaldy , Zunaidi, Irfan Babayo, Fitria, dan Tito Deswandi. Serta teman-teman Teknik Elektro, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
12. Bapak bapak BKM AL-Muhajirin Bapak Drs. Awaluddin Rivai, bang Armansyah, Bapak Suripno, Bapak Iwan, dan Bapak Salamun yang telah menerima saya menjadi bagian dari BKM masjid Al-Muhajirin.
13. Bapak/Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas dukungan administratif yang diberikan

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Harapan penulis, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang teknik elektro, dan menjadi kontribusi kecil bagi perkembangan dunia teknik.

Medan, 15 September 2025

Fajar Fatham Mubina

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Pengenalan Shore Connection	7
2.1.1 Sejarah Perkembangan <i>Shore Connection</i>	9
2.1.3 Manfaat Penggunaan Shore Connection.....	11
2.1.3. Standar Internasional dan Regulasi yang Berlaku (<i>IEEE, IEC, IMO, dll.</i>)	13
2.3 Transformator	14
2.2.1 Prinsip Dasar Transformator.....	14
2.2.2 Bagian Bagian Pada Trafo	16
2.4 Jenis jenis trafo	21
1. Trafo distribusi.....	21
2. Transformator <i>Step-Up</i>	21
3. Transformator <i>Step-Down</i>	22
4. Transformator Daya	23
5. Transformator Arus.....	24
6. Transformator Isolasi	25
7. Transformator Potensial.....	25

2.5 Hubungan Pada Trafo 3 Fasa	27
2.5.1 Transformator Hubung Bintang (Y)	27
2.5.2 Transformator Hubung Delta (Δ).....	28
2.5.3. Transformator Hubung Zig-Zag	29
2.6 Efisiensi Transformator	30
2.3.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Transformator.	30
2.3.2. Metode Pengukuran Efisiensi Transformator	33
2.4. Penerapan Transformator pada Sistem Shore Connection.....	36
2.4.1. Peran Transformator dalam Sistem Shore Connection.....	36
2.4.3. Studi Kasus Implementasi Transformator pada Shore Connection di Industri Maritim	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Waktu Dan Tempat	40
3.1.1 Waktu.....	40
3.1.2 Tempat	41
3.3 Prosedur Kerja Alat.....	42
3.4 Tahapan Penelitian.....	44
3.5 Analisa Data.....	44
3.6 Flowchart	47
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 prinsip dasar transformator	14
Gambar 2. 2 Kontruksi Trafo	14
Gambar 2. 3 Kumparan Trafo	17
Gambar 2. 4 Kumparan Trafo	17
Gambar 2. 5 Bagian Bagian Trafo	18
Gambar 2. 6 Trafo Distribusi	21
Gambar 3. 1 PT. Waruna Shipyard Indonesia	41
Gambar 3. 2 Dock VII	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	40
-----------------------------------	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Faktanya Indonesia adalah negara maritim, banyak pelabuhannya yang memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonominya melalui transportasi laut. Hal ini karena bisnis angkutan laut memainkan peran yang sangat penting dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara. Pelabuhan juga memiliki peran penting dalam mempengaruhi kelancaran kegiatan kapal dalam rangka mendukung transportasi laut. Kapal harus melakukan pemeliharaan, perbaikan, dan perawatan kapal secara teratur untuk membantu kelancaran kegiatan. Sedangkan untuk proses perbaikan/pemeliharaan bisanya meliputi perbaikan konstruksi lambung, perbaikan *propeller sterntube*, perawatan *main engine* dan peralatan lainnya.[1]

Penggunaan *Shore Connection* dengan trafo pada dock kapal merupakan teknologi penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Dalam beberapa tahun terakhir, industri maritim mengalami peningkatan signifikan, menyebabkan konsumsi energi meningkat. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi dampak lingkungan. Penggunaan *Shore Connection* dengan trafo dapat menjadi alternatif efektif karena mampu mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, menghemat biaya operasional, dan meningkatkan keandalan pasokan listrik. Namun, masih diperlukan analisis mendalam tentang efisiensi dan dampak lingkungan dari teknologi ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *Shore Connection* dengan trafo pada dock kapal dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan teknologi ramah lingkungan di industri maritim.

Shore Connection merupakan sistem penyaluran tenaga listrik dari darat ke kapal untuk menunjang kebutuhan daya listrik pada saat berlabuh, bersandar, dan atau melakukan proses bongkar muat dalam keadaan mesin mati. Secara umum sistem *shore connection* terdapat pada IEC PAS 80005-3 Tahun 2014 menjelaskan mengenai ruang lingkup LVSC (*Low Voltage Shore Connection*).

Mesin bantu kapal harus tetap beroperasi ketika berlabuh untuk memenuhi kebutuhan daya listrik kapal. Sebagai upaya dalam mengatasi polusi gas buang

mesin bantu kapal, pihak pengelola pelabuhan menyediakan fasilitas *shore connection* untuk memenuhi kebutuhan daya listrik kapal saat bersandar di dermaga. Shore connection berfungsi sebagai suplai daya pengganti saat kapal berlabuh, yang berawal dari mesin bantu kapal menjadi suplai daya dari darat.[2]

Trafo *Shore Connection* pada dock kapal sering mengalami masalah teknis yang signifikan. Kegagalan trafo, harmonik, dan *flicker* menyebabkan penurunan efisiensi, keandalan, dan kualitas pasokan listrik. Selain itu, overheating, kebocoran minyak, dan kerusakan isolasi juga menjadi masalah umum. Masalah-masalah ini mengakibatkan biaya perawatan meningkat, waktu operasional terganggu, dan risiko kecelakaan kerja meningkat. Oleh karena itu, diperlukan analisis menyeluruh untuk mengidentifikasi penyebab masalah dan mengembangkan solusi efektif guna meningkatkan kinerja dan keandalan trafo *Shore Connection*.

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi faktor yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan faktor. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.[3]

Transformator dalam sistem tenaga listrik merupakan komponen yang sangat penting. Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh transformator dipengaruhi oleh besar kecilnya pembebanan dan rugi daya yang terdapat pada *transformator*. Efisiensi transformator merupakan perbandingan antara *output*(daya keluaran) dengan *input*(daya masukan). Rugi-rugi transformator ini menyebabkan perbedaan antara daya masukan dan daya keluaran. Semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan pada transformator, maka akan semakin besar daya yang hilang pada

transformator tersebut. Penulisan ini bertujuan untuk mengetahui pembebanan dan efisiensi transformator pada Dock VII di PT. Waruna Shipyard Indonesia.

Sebelum melakukan perhitungan dan analisa terhadap besarnya persentase daya total (S) dan efisiensi transformator terpakai melakukan pengambilan data pada panel yang ada di Dock tersebut pada jam oprasional dock.

Agar penyelesaian masalah yang dilakukan tidak menyimpang dari ruang lingkup yang ditentukan dan untuk menghindari meluasnya permasalahan yang ada dalam penulisan, maka penulis membatasi permasalahan hanya pada analisa dan perhitungan pembebanan daya total dan efisiensi pada transformator pada Dock VII di PT. Waruna Shipyard Indonesia.[4]

Docking kapal merupakan aktivitas strategis dalam industri maritim, memungkinkan perawatan, perbaikan dan pemeliharaan kapal secara efektif. Aktivitas ini memastikan keselamatan, efisiensi dan kinerja optimal kapal, serta meminimalkan risiko kecelakaan dan kerusakan. Dengan docking rutin, biaya operasional kapal dapat dikurangi, umur kapal diperpanjang dan kualitas layanan transportasi laut ditingkatkan. Oleh karena itu, docking kapal harus dilakukan secara teratur dan efisien, termasuk penggunaan Shore Connection dengan trafo yang optimal untuk mendukung kegiatan operasional kapal.

Dalam jangka waktu tertentu, setelah kapal memiliki jam berlayar tertentu, kapal wajib melakukan *docking* dan *repairing* di dok atau galangan. Kualitas pekerjaan, pelayanan terbaik serta biaya termurah menjadi pertimbangan untuk melakukan *docking* dan *repairing* kapal. Pada proses pengurusan docking kapal di dok maka penulis terlebih dahulu menjabarkan jenis – jenis dok, proses docking, tugas *owner surveyor* dan instansi terkait pada pelaksanaan docking kapal serta hambatannya.[1]

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah ini untuk mendukung pengoprasian kinerja pada trafo shore connection berdasarkan hasil analisa dan kinerja para karyawan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar rugi-rugi daya yang terjadi Pada Transformator shore connection yang ada di dock VII PT. Waruna Indonesia ?
2. Berapa besar efisiensi pada Transformator dock VII ketika pagi siang dan malam hari pada saat beban puncak dan off puncak (bukan beban puncak)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah yang telah di buat adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui persentase beban puncak dan besar rugi-rugi yang terjadi pada transformator shore connection Dock VII PT. Waruna Shipyard Indonesia.
2. Dapat menentukan berapa besar efisiensi pada transformator shore connection pada saat beban puncak dan off puncak.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud juga tujuannya, maka ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya menganalisa penggunaan trafo *Shore Connection* pada dock VII di PT. Waruna Shipyard Indonesia
2. Membahas tentang rugi-rugi daya dan efisiensi pada transformator *Shore Connection* Dock VII di PT. Waruna Shipyard Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan Pemahaman tentang Efisiensi Transformator Shore Connection Penelitian ini dapat membantu dalam memahami bagaimana transformator *Shore Connection* bekerja dalam menyesuaikan tegangan listrik

dari sumber daya di darat agar sesuai dengan kebutuhan kapal. Efisiensi transformator sangat penting untuk memastikan bahwa daya yang dikirimkan ke kapal tidak mengalami rugi-rugi energi yang besar, sehingga konsumsi listrik tetap optimal. Dengan adanya analisis ini, dapat diketahui apakah transformator yang digunakan sudah memenuhi standar efisiensi yang direkomendasikan oleh regulasi kelistrikan maritim seperti *IEC 60076* atau *IEEE Std C57.12*.

Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pihak pelabuhan dan industri maritim dalam meningkatkan efisiensi sistem *shore connection*. Jika transformator memiliki efisiensi yang rendah, maka diperlukan langkah-langkah perbaikan seperti pemilihan kapasitas transformator yang lebih sesuai atau penggunaan teknologi yang lebih modern untuk meminimalkan rugi daya.

2. Menganalisis Pengaruh Beban Kapal terhadap Kinerja Transformator Setiap kapal memiliki kebutuhan daya listrik yang berbeda-beda tergantung pada jenis kapal, jumlah sistem yang aktif, serta durasi penggunaan daya selama berlabuh. Beban listrik yang berubah-ubah ini dapat mempengaruhi kinerja transformator, terutama dalam hal stabilitas tegangan, efisiensi daya, dan kenaikan suhu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana perubahan beban kapal berdampak pada kinerja transformator, baik dalam kondisi beban rendah maupun beban penuh. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menentukan strategi pengelolaan beban yang lebih baik di pelabuhan. Misalnya, jika ditemukan bahwa peningkatan beban menyebabkan kenaikan suhu transformator yang berlebihan, maka dapat diterapkan metode pendinginan yang lebih efektif atau dilakukan penyesuaian distribusi daya. Selain itu, dengan memahami pengaruh beban terhadap transformator, langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk menghindari penurunan performa transformator dalam jangka panjang

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian oleh Elvy Sahnur Nasution, Faisal Irsan Pasaribu, Yusniati, Muhammad Arfianda, Transformator merupakan komponen utama dalam penyaluran energi listrik pada sebuah sistem kelistrikan, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian sistem yaitu Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi. Jarak antara pembangkit listrik dan beban terletak sangat jauh sehingga membutuhkan transformator daya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan agar rugi-rugi yang dihasilkan selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir.[5]

Penelitian oleh D. S. A. Pambudi, E. P. Hidayat, dan A. N. Yankumara, yang dipublikasikan dalam *Jurnal Teknologi Maritim*. Studi ini menganalisis kebutuhan daya dan infrastruktur yang diperlukan untuk mengimplementasikan sistem shore connection di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong, Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penentuan kapasitas transformator harus mempertimbangkan efisiensi transformator yang digunakan, dengan efisiensi maksimum tercapai pada pembebanan 80% dari kapasitas transformator.[2]

Penelitian oleh D. S. A. Pambudi, E. P. Hidayat, dan A. N. Yankumara, dipublikasikan dalam *Jurnal Teknologi Maritim*, membahas dampak penggunaan shore connection terhadap pengurangan emisi gas buang dari kapal. Studi ini menemukan bahwa penggunaan shore connection dapat mengurangi emisi NO_x dan SO₂ hingga 94%, menunjukkan efektivitas teknologi ini dalam mendukung pelabuhan ramah lingkungan.[6]

Tutus Mahardika Mujahid, Annas Singgih Setiyoko, dan Perwi Darmajanti melakukan penelitian yang dipublikasikan dalam *JE-UNISLA* pada tahun 2022. Penelitian ini menggunakan metode analisis kapasitas pengaman dan penghantar dengan perhitungan manual serta simulasi aliran daya berbasis aplikasi Electrical Transient Analyzer Program (ETAP). Hasilnya menunjukkan bahwa sistem shore connection yang terpasang membutuhkan perbaikan pada kapasitas hantar arus

konduktor agar memenuhi persyaratan PUIL 2011, terutama mengacu pada arus pembebanan penuh sebesar 347,83 A.[7]

Aditya Premata Putra dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melakukan penelitian yang berfokus pada perencanaan sistem shore power connection di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong. Studi ini menganalisis lalu lintas kapal dan kebutuhan daya listrik pelabuhan, serta merancang sistem shore power connection yang terdiri dari konverter frekuensi, transformator, busbar, dan shore connection box. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi polusi di pelabuhan dan mendukung konsep pelabuhan hijau.[8]

Herlambang Lutvi Yudhian dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melakukan penelitian yang menganalisis studi kelayakan penerapan shore power connection di Terminal Teluk Lamong. Penelitian ini menekankan pentingnya analisis aspek operasional dan keuangan dalam perencanaan shore power connection, termasuk perhitungan investasi, proyeksi laba rugi, dan arus kas. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan pelabuhan ramah lingkungan di Indonesia.[9]

2.2 Pengenalan Shore Connection

Shore Connection adalah distribusi tenaga listrik dari darat ke kapal yang digunakan selama kapal berlabuh di dermaga untuk memenuhi kebutuhan daya listrik di atas kapal dan dalam kondisi mesin kapal dimatikan dengan tujuan untuk mengurangi emisi di pelabuhan[7].

Shore connection, atau sering disebut juga sebagai *cold ironing* atau *shore-to-ship power*, adalah sistem yang memungkinkan kapal yang berlabuh di pelabuhan untuk menerima pasokan listrik dari darat dengan menggunakan sistem ini, kapal dapat mematikan mesin bantu mereka yang biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik di atas kapal, sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Sistem *shore connection* menjadi solusi efektif untuk mengurangi polusi udara di area pelabuhan yang padat aktivitas.

Implementasi *shore connection* melibatkan beberapa komponen utama, termasuk kabel listrik, panel distribusi, dan transformator. Kabel listrik digunakan untuk menghubungkan sumber listrik di darat ke sistem kelistrikan kapal. Panel distribusi berfungsi untuk mengatur dan mendistribusikan listrik sesuai dengan kebutuhan kapal. Transformator digunakan untuk menyesuaikan tegangan listrik dari darat agar sesuai dengan sistem kelistrikan kapal, memastikan kompatibilitas dan keamanan operasional.[2]

Adalah satu manfaat utama dari penggunaan *shore connection* adalah pengurangan emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya. Dengan mematikan mesin bantu kapal saat berlabuh dan menggunakan listrik dari darat, emisi seperti nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), dan partikel lainnya dapat diminimalkan. Hal ini sejalan dengan upaya global untuk meningkatkan kualitas udara di sekitar pelabuhan dan memenuhi regulasi lingkungan yang semakin ketat.[6]

Selain manfaat lingkungan, *shore connection* juga menawarkan keuntungan ekonomi. Penggunaan listrik dari darat seringkali lebih efisien dan ekonomis dibandingkan dengan mengoperasikan mesin bantu kapal yang berbahan bakar fosil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *shore connection* dapat menurunkan biaya operasional kapal secara signifikan, terutama dalam hal penghematan bahan bakar dan perawatan mesin.[10]

Namun, implementasi *shore connection* memerlukan investasi awal yang signifikan, baik dari sisi infrastruktur pelabuhan maupun modifikasi pada kapal. Standarisasi sistem, seperti yang diatur dalam IEC PAS 80005-3, diperlukan untuk memastikan kompatibilitas antara fasilitas di darat dan sistem kelistrikan kapal. Selain itu, pelatihan bagi kru kapal dan personel pelabuhan juga penting untuk memastikan operasi yang aman dan efisien.[2]

Secara keseluruhan, *shore connection* merupakan solusi inovatif yang menawarkan berbagai manfaat, mulai dari pengurangan emisi dan peningkatan kualitas udara hingga efisiensi operasional dan penghematan biaya. Dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kesadaran akan pentingnya

keberlanjutan lingkungan, diharapkan implementasi shore connection akan semakin meluas di pelabuhan-pelabuhan di seluruh dunia.

Dengan demikian, Shore Connection dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari operasi kapal. Shore Connection terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber daya listrik darat, sistem transmisi daya, dan sistem penerimaan daya di kapal. Sumber daya listrik darat dapat berupa pembangkit listrik tenaga diesel, pembangkit listrik tenaga gas, atau sumber daya listrik lainnya.

2.1.1 Sejarah Perkembangan *Shore Connection*

Sejarah perkembangan Shore Connection dimulai pada awal abad ke-20, ketika kapal-kapal mulai menggunakan listrik sebagai sumber tenaga. Pada saat itu, kapal-kapal menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel yang dipasang di atas kapal. Namun, pembangkit listrik ini memiliki beberapa kelemahan, seperti konsumsi bahan bakar yang tinggi dan emisi gas buang yang berbahaya.

Pada tahun 1920-an, beberapa pelabuhan di Eropa dan Amerika mulai mengembangkan sistem *Shore Connection* yang memungkinkan kapal-kapal untuk mengambil daya listrik dari sumber darat. Sistem ini menggunakan kabel listrik yang dipasang di bawah laut untuk menghubungkan kapal dengan sumber daya listrik darat.

Pada tahun 1950-an dan 1960-an, Shore Connection mulai digunakan secara luas di pelabuhan-pelabuhan besar di seluruh dunia. Pada saat itu, sistem Shore Connection masih menggunakan teknologi yang relatif sederhana, seperti pembangkit listrik tenaga diesel dan sistem transmisi daya yang tidak efisien.

Pada tahun 1970-an dan 1980-an, perkembangan teknologi Shore Connection mulai meningkat pesat. Pada saat itu, sistem Shore Connection mulai menggunakan teknologi yang lebih maju, seperti pembangkit listrik tenaga gas dan sistem transmisi daya yang lebih efisien.

Pada tahun 1990-an dan 2000-an, Shore Connection mulai digunakan secara luas di pelabuhan-pelabuhan besar di seluruh dunia. Pada saat itu, sistem Shore Connection telah menggunakan teknologi yang sangat maju, seperti sistem

transmisi daya yang menggunakan kabel listrik berisolasi dan pembangkit listrik tenaga angin.

Saat ini, Shore Connection telah menjadi salah satu teknologi yang paling penting dalam industri maritim. Sistem ini telah membantu mengurangi emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar, serta meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penumpang.[11]

Di Indonesia, penerapan *shore connection* mulai mendapat perhatian pada pertengahan 2010-an. Pada tahun 2016, Indonesia berencana memiliki sistem shore connection pertama di dunia yang diimplementasikan di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong, Surabaya. Pelabuhan ini mengusung konsep *green port* dengan menerapkan berbagai upaya ramah lingkungan, salah satunya adalah penggunaan *shore connection*.

Implementasi shore connection di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong melibatkan perencanaan sistem yang terdiri dari konverter frekuensi, transformator, busbar, dan kotak shore connection. Sistem ini dirancang untuk mengurangi tingkat polusi di pelabuhan dengan menyediakan pasokan listrik dari darat ke kapal yang bersandar, sehingga kapal dapat mematikan mesin bantu mereka selama proses bongkar muat.

Secara global, penerapan shore connection terus berkembang dengan adopsi teknologi yang lebih maju dan penetapan standar internasional seperti *IEC/ISO/IEEE 80005-1* yang memberikan pedoman untuk desain dan operasional sistem shore connection bertegangan tinggi. Dengan semakin ketatnya regulasi lingkungan dan komitmen industri maritim untuk mengurangi jejak karbon, shore connection menjadi solusi penting dalam mewujudkan operasional pelabuhan dan kapal yang lebih bersih dan efisien.

2.1.2 Definisi dan Konsep *Shore Connection*

Dalam jangka waktu tertentu, setelah kapal memiliki jam berlayar tertentu, kapal wajib melakukan docking dan repairing di dok atau galangan. Kualitas pekerjaan, pelayanan terbaik serta biaya termurah menjadi pertimbangan untuk

melakukan docking dan repairing kapal. Pada proses pengurusan docking kapal di dok maka penulis terlebih dahulu menjabarkan jenis – jenis dok, proses docking, tugas owner surveyor dan instansi terkait pada pelaksanaan docking kapal serta hambatannya

Jenis dock yang ada di PT. Waruna Shipyard Indonesia

A. Dock Kolam (*Graving Dock/Dry Dock*)

Dok kolam atau Graving Dock yaitu suatu fasilitas pengedokan kapal yang berbentuk meyerupai kolam yang terletak di pinggir laut. Pada dok kolam mempunyai beberapa elemen atau bagian yang penting diantaranya adalah: pintu penutup (yang berhubungan dengan perairan pantai), pompa-pompa pengering, mesin gulung (cupstand), tangga-tangga (untuk naik turun keadasar dan atas kolam, crane (untuk transportasi) dll. Dimana umumnya dinding-dinding sisi dan belakang terdiri dari bangunan beton bertulang, dasar dari kolam ini terdiri dari beton bertulang yang telah dipancang paku-paku bumi (concrete pile) sedangkan pintu penutupnya terbuat dari pelat baja yang konstruksinya dibuat sedemikian rupa, sehingga pintu tersebut dapat mengapung, dimana pintu penutup ini dilengkapi tangki-tangki ballast yang digunakan untuk menenggelamkan dan mengapungkan pada waktu pengoperasiannya serta dilengkapi dengan katup-katup (valves) dan pompa-pompa. Pada bagian bibir pintu yang bersinggungan dengan bibir kolam (graving dock) diberi packing dari karet untuk memperoleh kedap pada waktu air dalam kolam kosong

2.1.3 Manfaat Penggunaan Shore Connection

Penggunaan Shore Connection memiliki beberapa manfaat yang signifikan bagi industri maritim dan lingkungan. Salah satu manfaat utama adalah pengurangan emisi gas buang dan polusi udara. Dengan menggunakan Shore Connection, kapal-kapal dapat mematikan mesin mereka dan mengambil daya listrik dari sumber darat, sehingga mengurangi emisi gas buang dan polusi udara.

Untuk mengurangi emisi gas buang dalam rangka meningkatkan kualitas udara, dapat dilakukan dalam berbagai macam usaha. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan memakai prosedur *Shore Connect*, yaitu menyuplai tenaga

listrik dari darat ke kapal untuk mengganti pemakaian mesin bantu kapal dalam menyuplai kebutuhan listrik dari darat ke kapal untuk mengganti pemakaian mesin bantu kapal dalam menyuplai kebutuhan listrik kapal dalam melakukan proses bongkar – muat.

Konsep Shore Connect ini merupakan salah satu program mengurangi emisi gas buang yang dilakukan oleh IMO (*International Maritime Organization*) menurut aturan Marpol 73/78 dan peraturan turunannya. Keuntungan menggunakan program *Shore Connect* adalah :

1. Mengurangi biaya pelabuhan
2. Mengurangi emisi gas buang *Nox, Sox, Pm* (Particular matter – material padat) maupun Cox secara signifikan
3. Mengurangi pemakaian BBM untuk operasional mesin bantu kapal
4. Mengurangi biaya perawatan dan pemeliharaan mesin bantu kapal
5. Menciptakan lingkungan kerja yang lebih baik bagi para awak kapal dan penumpang

Selain itu, penggunaan juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan biaya operasional kapal. Dengan menggunakan daya listrik dari sumber darat, kapal-kapal dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan biaya operasional.[12]

Penggunaan Shore Connection juga dapat meningkatkan kenyamanan penumpang dan awak kapal. Dengan menggunakan daya listrik dari sumber darat, kapal-kapal dapat menyediakan fasilitas yang lebih baik, seperti pencahayaan, pemanasan, dan pendinginan. Selain itu, penggunaan Shore Connection juga dapat membantu mengurangi kebisingan dan getaran yang dihasilkan oleh mesin kapal. Dengan menggunakan daya listrik dari sumber darat, kapal-kapal dapat mengurangi kebisingan dan getaran yang dihasilkan oleh mesin mereka.

Terakhir, penggunaan Shore Connection juga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari operasi kapal. Dengan menggunakan daya listrik dari sumber darat, kapal-kapal dapat mengurangi emisi gas buang dan polusi udara, sehingga membantu mengurangi dampak lingkungan dari operasi kapal.[7]

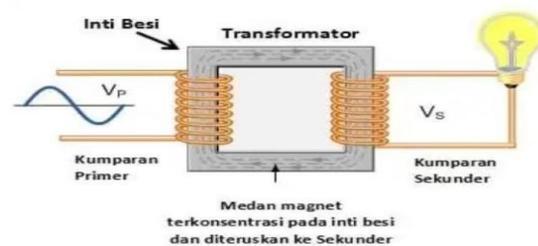
2.1.3. Standar Internasional dan Regulasi yang Berlaku (*IEEE, IEC, IMO, dll.*)

Implementasi sistem *shore connection* dalam industri maritim diatur oleh berbagai standar internasional dan regulasi nasional yang bertujuan memastikan keselamatan, kompatibilitas, dan efisiensi operasional. Salah satu standar utama yang mengatur aspek teknis *shore connection* adalah IEC PAS 80005-3:2014, yang membahas tentang *Low Voltage Shore Connection (LVSC)*. Standar ini menetapkan spesifikasi teknis untuk sambungan daya tegangan rendah antara darat dan kapal, termasuk persyaratan tegangan nominal, frekuensi operasi, dan konfigurasi sistem. Tujuannya adalah memastikan bahwa fasilitas *shore connection* yang disediakan di pelabuhan dapat memenuhi kebutuhan listrik kapal secara aman dan efisien. Sebagai contoh, IEC PAS 80005-3:2014 mensyaratkan bahwa tegangan nominal yang disuplai harus sebesar 400 VAC, 440 VAC, atau 690 VAC, dengan frekuensi yang sesuai dengan sistem kelistrikan kapal. Jika terdapat perbedaan frekuensi antara sumber daya di darat dan kebutuhan kapal, maka diperlukan pemasangan konverter frekuensi untuk menyelaraskannya.[2]

Penerapan standar dan regulasi tersebut tidak hanya bertujuan meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung inisiatif global dalam mengurangi dampak lingkungan dari industri pelayaran. Dengan mematuhi standar internasional seperti IEC PAS 80005-3:2014 dan ketentuan SOLAS, serta regulasi nasional yang berlaku, diharapkan implementasi *shore connection* di pelabuhan-pelabuhan Indonesia dapat berjalan optimal, memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan.

2.3 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi – elektromagnet tanpa mengubah frekuensinya. Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar ”kaki” inti transformator.

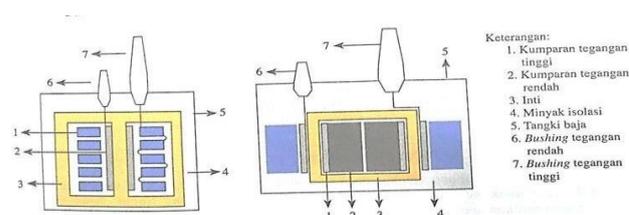


Gambar 2. 1 prinsip dasar transformator

Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki dan masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang tengah-tengah dibelit oleh kedua kumparan. [13]

2.2.1 Prinsip Dasar Transformator

Prinsip kerja transformator didasarkan pada hukum Ampere dan hukum Faraday, yang menyatakan bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet, dan perubahan medan magnet dapat menginduksi arus listrik pada kumparan lain yang berdekatan. Dalam operasinya, transformator ideal diasumsikan tidak



Gambar 2. 2 Kontruksi Trafo

memiliki rugi-rugi daya, sehingga daya yang masuk ke kumparan primer sama dengan daya yang keluar dari kumparan sekunder.

Namun, dalam praktiknya, selalu ada rugi-rugi seperti rugi tembaga pada kumparan dan rugi besi pada inti transformator. Efisiensi transformator biasanya sangat tinggi, mencapai lebih dari 90%, tergantung pada desain dan material yang digunakan. Transformator memainkan peran penting dalam sistem tenaga listrik, terutama dalam distribusi dan transmisi listrik, dengan memungkinkan penyesuaian level tegangan sesuai kebutuhan, sehingga meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik.

Bila belitan primer dikaitkan dengan sumber tegangan yang berputar, sedangkan belitan sekunder berada dalam kondisi tanpa beban, sehingga mengalir terus-menerus melalui kumparan primer yang disebut arus beban nol (I_0). Hal ini secara terus menerus akan menghasilkan gerakan memutar pada bagian tengahnya. Gerakan memutar ini dikelilingi oleh lilitan utama dan lilitan bantu, sehingga pada kedua lilitan tersebut timbul gaya gerak listrik sebesar:

$$E_1 = 4,44 f N_1 \phi \text{ (volt)} \dots \dots \dots (1)$$

$$E_2 = 4,44 f N_2 \phi \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2)$$

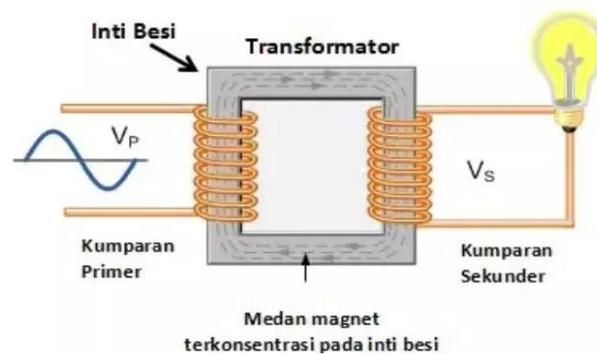
Pada persamaan diatas, (2.1) merupakan Ikal esensial dikaitkan dengan sumber tegangan yang berputar, sedangkan loop opsional berada dalam kondisi terbuang, sehingga mengalir terus-menerus melalui ikal esensial yang disebut arus beban nol (I_0). Hal ini secara terus menerus akan menghasilkan gerakan memutar pada bagian tengahnya. Gerakan memutar ini dikelilingi oleh lilitan utama dan lilitan bantu, sehingga pada kedua lilitan tersebut timbul gaya gerak listrik sebesar: harus meningkat jadi I_1 , hingga dipenuhi :

$$N_1 I_0 = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots \dots \dots (3)$$

Gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada kumparan memunculkan medan elektrik yang kokoh pada isolasi kumparan, teristimewa pada isolasi disekitar belitan kumparan tegangan besar. Arus yang mengalir pada kumparan hendak memunculkan rugi-rugi tembaga. Fluks pada inti hendak memunculkan rugi-rugi arus eddy serta rugi-rugi histeresis, serta jumlah kedua rugi-rugi ini diucap rugi-rugi inti. Pemanasan sebab rugi-rugi tembaga serta rugi-rugi inti hendak menaikkan temperatur isolasi trafo. Disamping itu, arus pada kumparan hendak memunculkan gaya mekanik, serta kala dialiri arus hubung pendek style ini memunculkan tekanan yang berat pada isolasi. Oleh sebab itu, sistem isolasi wajib mempunyai ketentuan selaku berikut: kekuatan dielektrik wajib melebihi kokoh medan elektrik paling tinggi yang ditemui pada komponen trafo; mampu mempunyai gaya mekanis yang ditimbulkan arus hubung pendek serta bisa mendisipasikan panas yang terjalin pada trafo ke medium dekat dengan baik.

2.2.2 Bagian Bagian Pada Trafo

Transformator, atau sering disebut trafo, adalah perangkat listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik bolak-balik (AC) dari satu level ke level lainnya melalui prinsip induksi elektromagnetik. Komponen-komponen utama transformator dirancang sedemikian rupa untuk memastikan efisiensi dan keandalan dalam operasinya. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai bagian-bagian transformator

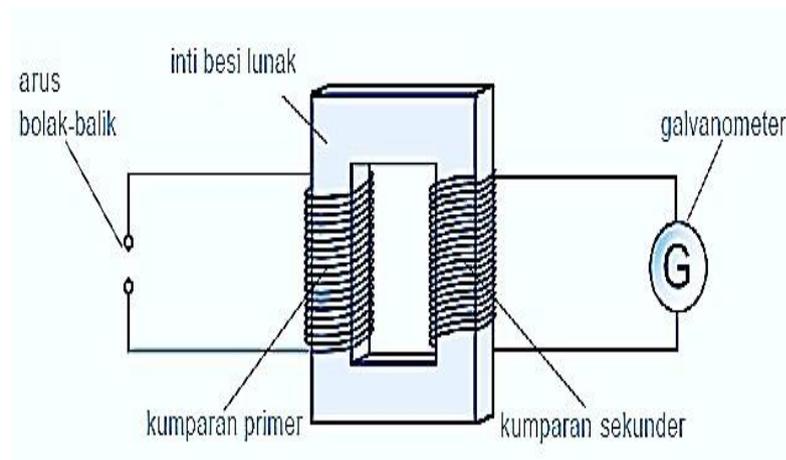


Gambar 2. 3 prinsi kerja transformator

1. Inti Besi (Core)

Inti besi merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai jalur bagi fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan.

Biasanya, inti ini terbuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang diisolasi satu sama lain untuk mengurangi kerugian akibat arus eddy dan histeresis. Desain ini membantu meminimalkan panas yang dihasilkan dan meningkatkan efisiensi transformator. Pemilihan material dan desain inti yang tepat sangat penting untuk memastikan kerugian daya dapat ditekan seminimal mungkin.



Gambar 2. 4 Kumparan Trafo

2. Kumparan (*Winding*)

Transformator memiliki dua jenis kumparan utama: kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer terhubung ke sumber tegangan, sedangkan kumparan sekunder terhubung ke beban. Kedua kumparan ini dililitkan pada inti besi dan diisolasi dengan baik untuk mencegah hubungan singkat. Jumlah lilitan pada masing-masing kumparan menentukan apakah transformator tersebut berfungsi untuk menaikkan (*step-up*) atau menurunkan (*step-down*) tegangan. Material yang digunakan untuk kumparan biasanya adalah kawat tembaga berkualitas tinggi karena memiliki konduktivitas listrik yang baik.

3. Lapisan Isolasi

Isolasi dalam transformator berfungsi untuk mencegah terjadinya hubungan singkat antara kumparan dengan inti besi maupun antara lilitan dalam kumparan itu sendiri. Bahan isolasi yang digunakan harus memiliki resistansi tinggi dan mampu

menahan tegangan listrik yang tinggi. Pada transformator dengan tegangan tinggi, isolasi yang lebih tebal dan berkualitas tinggi sangat diperlukan untuk memastikan keamanan dan keandalan operasional.

4. Tangki atau Wadah Transformator

Komponen ini berfungsi sebagai pelindung transformator dari faktor eksternal seperti kelembapan, debu, dan kontaminan lainnya.

Komponen ini berfungsi sebagai pelindung transformator dari faktor eksternal seperti kelembapan, debu, dan kontaminan lainnya.

Selain itu, tangki juga berfungsi sebagai wadah untuk minyak isolasi yang digunakan untuk pendinginan dan isolasi tambahan. Desain tangki biasanya



Gambar 2. 5 Bagian Bagian Trafo

dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin untuk meningkatkan efisiensi pembuangan panas.

5. *Bushing*

Bushing adalah isolator yang digunakan untuk menghubungkan kumparan transformator ke jaringan listrik eksternal. Komponen ini memastikan bahwa konduktor dapat melewati dinding tangki tanpa menyebabkan kebocoran minyak atau gangguan isolasi. *Bushing* biasanya terbuat dari bahan keramik atau porselen yang memiliki sifat isolasi tinggi dan tahan terhadap tegangan listrik yang tinggi.

6. Minyak Transformator

Minyak transformator memiliki dua fungsi utama: sebagai media pendingin untuk menghilangkan panas yang dihasilkan selama operasi dan sebagai isolator tambahan untuk meningkatkan kekuatan dielektrik antara komponen internal. Minyak ini harus memiliki sifat kimia yang stabil, titik nyala tinggi, dan viskositas rendah untuk memastikan sirkulasi yang baik dan efisiensi pendinginan yang optimal.

7. Tangki *Konservator*

Tangki *konservator* adalah komponen tambahan yang berfungsi sebagai penampung cadangan minyak transformator. Saat suhu operasi meningkat, minyak dalam transformator akan memuai, dan kelebihan volume ini akan disalurkan ke tangki konservator. Sebaliknya, saat suhu menurun, minyak dari tangki konservator akan mengalir kembali ke dalam transformator. Hal ini membantu menjaga tekanan internal dan mencegah terjadinya kelembapan yang dapat merusak isolasi.

8. *Breather*

Breather adalah perangkat yang berisi silica gel yang berfungsi untuk menyerap kelembapan dari udara yang masuk ke dalam tangki konservator. Ini penting untuk mencegah masuknya uap air ke dalam minyak transformator, yang dapat menurunkan kualitas isolasi dan menyebabkan kerusakan pada komponen internal. Silica gel dalam *breather* akan berubah warna saat jenuh dengan kelembapan, menandakan bahwa perlu dilakukan penggantian atau regenerasi.

9. Radiator dan Kipas Pendingin

Untuk transformator dengan kapasitas besar, sistem pendinginan tambahan seperti radiator dan kipas digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembuangan panas. Radiator berfungsi sebagai media untuk melepaskan panas dari minyak yang bersirkulasi, sementara kipas membantu meningkatkan aliran udara dan

mempercepat proses pendinginan. Sistem pendinginan yang efektif sangat penting untuk menjaga suhu operasi transformator dalam batas yang aman dan memperpanjang umur layanannya. Pemahaman mendalam tentang setiap komponen transformator dan fungsinya sangat penting untuk memastikan operasional yang efisien dan andal. Perawatan rutin dan inspeksi berkala juga diperlukan untuk mendeteksi potensi masalah sejak dini dan mencegah kerusakan yang lebih serius.

2.4 Jenis jenis trafo

1. Trafo distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk mengurangi tegangan utama dari sistem distribusi listrik menjadi tegangan untuk penggunaan konsumen. Contoh salah satu bentuk transformator distribusi seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Trafo Distribusi

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step-down 20kV/400V 3 fasa dan satu fasa, dan ada juga yang menggunakan 3 buah transformator satu fasa. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada tegangan rendahnya dibuat diatas 380V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380V.[14]

2. Transformator *Step-Up*

Transformator step-up dirancang untuk meningkatkan level tegangan AC dari nilai yang lebih rendah ke nilai yang lebih tinggi. Hal ini dicapai dengan memiliki jumlah lilitan pada kumparan sekunder yang lebih banyak dibandingkan dengan kumparan primer. Biasanya, transformator jenis ini digunakan pada pembangkit listrik untuk menaikkan tegangan keluaran generator sebelum ditransmisikan melalui jaringan listrik jarak jauh. Dengan meningkatkan tegangan,

Arus yang mengalir dalam jaringan dapat dikurangi, sehingga mengurangi kerugian energi akibat resistansi kabel transmisi.

Dalam aplikasinya, transformator step-up sering digunakan dalam sistem transmisi tenaga listrik jarak jauh. Setelah listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik, tegangan ditingkatkan menggunakan transformator step-up untuk mengurangi rugi-rugi daya selama transmisi. Tegangan tinggi memungkinkan arus yang lebih rendah untuk daya yang sama, sehingga mengurangi rugi-rugi resistif pada saluran transmisi. Selain itu, transformator step-up juga digunakan dalam aplikasi lain seperti pada perangkat X-ray dan microwave, di mana diperlukan tegangan tinggi untuk operasionalnya. Penelitian mengenai pemanfaatan transformator step-up telah dilakukan, salah satunya adalah studi tentang pemanfaatan arus netral pada gardu distribusi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik.[15]

3. Transformator *Step-Down*

Sebaliknya, transformator step-down berfungsi untuk menurunkan tegangan AC dari level yang lebih tinggi ke level yang lebih rendah. Dalam transformator ini, jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak dibandingkan dengan kumparan sekunder. Transformator step-down umum digunakan dalam distribusi listrik ke konsumen, seperti menurunkan tegangan dari jaringan distribusi ke level yang aman dan sesuai untuk peralatan rumah tangga dan industri.[16]

Dalam aplikasinya, transformator step-down banyak digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik untuk menurunkan tegangan tinggi dari jaringan transmisi menjadi tegangan yang lebih rendah dan aman untuk digunakan pada peralatan rumah tangga dan industri. Misalnya, tegangan listrik yang ditransmisikan melalui jaringan listrik biasanya berada pada level yang sangat tinggi untuk efisiensi transmisi, namun sebelum digunakan oleh konsumen, tegangan tersebut perlu diturunkan ke level yang sesuai, seperti 220V atau 110V, tergantung pada standar yang berlaku di masing-masing negara. Selain itu, transformator step-down juga digunakan dalam berbagai perangkat elektronik yang memerlukan tegangan operasi lebih rendah daripada sumber daya yang tersedia, memastikan bahwa peralatan tersebut beroperasi dengan aman dan efisien.

Salah satu penelitian yang membahas mengenai transformator step-down adalah "Analisis Keandalan Sistem Trafo Step Down Menggunakan Metode Fuzzy Logic" yang dipublikasikan dalam Jurnal ELTEK. Penelitian ini menganalisis keandalan transformator step-down dalam menyeimbangkan beban menggunakan metode logika fuzzy, yang menunjukkan pentingnya pemeliharaan dan pengelolaan beban untuk memastikan operasi transformator yang optimal dan berkelanjutan.[17]

4. Transformator Daya

Transformator daya adalah perangkat berukuran besar yang digunakan untuk mentransfer daya listrik dalam jumlah besar dari satu rangkaian ke rangkaian lain tanpa mengubah frekuensinya. Mereka bekerja berdasarkan prinsip induksi timbal balik dan membutuhkan suplai AC. Transformator daya biasanya ditemukan di stasiun pembangkit listrik dan gardu transmisi, dengan tingkat isolasi yang tinggi untuk menangani tegangan hingga 33 kV.

Desain transformator daya melibatkan inti besi yang dilaminasi untuk meminimalkan rugi-rugi akibat arus eddy, serta kumparan primer dan sekunder yang terbuat dari kawat tembaga berisolasi. Inti besi berfungsi sebagai jalur bagi fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan, sementara kumparan primer dan sekunder memungkinkan transfer energi listrik melalui induksi elektromagnetik. Transformator daya dirancang untuk beroperasi dengan efisiensi tinggi, biasanya antara 95% hingga 99%, tergantung pada ukuran dan aplikasinya. Namun, faktor-faktor seperti pembebanan yang berlebihan, suhu operasi yang tinggi, dan kualitas isolasi dapat mempengaruhi efisiensi dan umur transformator. Oleh karena itu, pemantauan kondisi operasional dan perawatan rutin sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dan memperpanjang masa pakai transformator daya.

Salah satu penelitian yang relevan adalah "Analisis Efisiensi Transformator Dalam Pembangkit Listrik Di PT. PLN Indonesia Power UPDK Keramasan" yang dipublikasikan dalam Jurnal Penelitian Sains. Penelitian ini menyoroti pentingnya

efisiensi transformator dalam operasi pembangkit listrik dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.[18]

5. Transformator Arus

Transformator arus, atau *Current Transformer* (CT), adalah perangkat listrik yang berfungsi untuk mengubah arus listrik yang tinggi menjadi arus yang lebih rendah secara proporsional, sehingga memungkinkan pengukuran dan pemantauan arus tanpa harus langsung terhubung ke sirkuit berarus tinggi. Prinsip kerjanya didasarkan pada induksi elektromagnetik, di mana arus yang mengalir melalui belitan primer menghasilkan medan magnet yang kemudian diinduksikan ke belitan sekunder. Belitan primer biasanya terdiri dari sedikit lilitan atau bahkan hanya satu lilitan yang terhubung secara seri dengan sirkuit utama, sedangkan belitan sekunder memiliki lebih banyak lilitan dan terhubung ke peralatan pengukuran atau proteksi. Dengan konfigurasi ini, CT mampu menyediakan representasi arus yang aman dan terisolasi untuk peralatan seperti amperemeter, relai proteksi, dan sistem pemantauan lainnya.

Penggunaan transformator arus sangat penting dalam sistem tenaga listrik, terutama untuk tujuan pengukuran dan proteksi. Dengan menurunkan arus ke tingkat yang lebih aman, CT memungkinkan peralatan pengukuran untuk memantau arus tanpa risiko kerusakan akibat arus tinggi. Selain itu, dalam aplikasi proteksi, CT bekerja sama dengan relai untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti arus lebih atau hubung singkat, sehingga dapat memicu pemutusan sirkuit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem. Keakuratan dan keandalan CT sangat penting, karena kesalahan dalam pengukuran atau deteksi dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem proteksi. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin dan pengujian berkala terhadap CT menjadi hal yang krusial untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.[19]

Transformator arus digunakan untuk mengurangi atau mengalihkan arus bolak-balik (AC). Mereka menghasilkan arus pada kumparan sekunder yang sebanding dengan arus pada kumparan primer. Ketika arus terlalu tinggi untuk diterapkan langsung ke alat pengukur, transformator arus membantu mengubah

arus tinggi dalam rangkaian ke nilai yang diperlukan. Mereka adalah unit pendeteksi arus dalam sistem tenaga dan digunakan di stasiun distribusi, gardu listrik, dan produksi industri.

Salah satu penelitian yang relevan adalah "Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik" yang dipublikasikan dalam Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura. Penelitian ini menekankan pentingnya pengujian dan pemeliharaan transformator arus untuk memastikan keandalan sistem proteksi pada gardu induk.

6. Transformator Isolasi

Transformator isolasi digunakan untuk mentransfer daya listrik dari arus bolak-balik sambil mengisolasi perangkat yang diberi daya untuk alasan keamanan. Mereka memberikan isolasi galvanik, yang berarti tidak ada jalur konduksi antara sumber dan beban. Transformator isolasi dapat beroperasi sebagai transformator step-up atau step-down, dengan tegangan primer dan sekunder yang sama. Mereka digunakan dalam komputer, alat instrumen, atau perangkat elektronik daya untuk memastikan keamanan dan mencegah gangguan listrik.

Dalam aplikasinya, transformator isolasi sering digunakan dalam peralatan medis, sistem kontrol industri, dan perangkat elektronik sensitif lainnya di mana isolasi listrik dan perlindungan terhadap lonjakan tegangan sangat penting. Selain itu, transformator ini berperan dalam mengurangi gangguan elektromagnetik dengan memblokir interferensi yang mungkin terjadi antara sirkuit primer dan sekunder, sehingga memastikan kinerja optimal dari peralatan yang terhubung. Penggunaan transformator isolasi juga umum dalam pemeliharaan peralatan listrik, di mana teknisi memerlukan isolasi tambahan untuk mencegah risiko sengatan listrik selama proses diagnostik dan perbaikan. Dengan demikian, transformator isolasi tidak hanya berfungsi sebagai komponen pengaman, tetapi juga sebagai elemen penting dalam memastikan integritas dan keandalan sistem listrik secara keseluruhan.[20]

7. Transformator Potensial

Transformator potensial, atau sering disebut juga transformator tegangan, adalah komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tingkat yang lebih rendah dan aman untuk pengukuran dan proteksi. Fungsi utamanya adalah menyediakan sinyal tegangan yang proporsional dengan tegangan sistem, memungkinkan alat ukur seperti voltmeter, wattmeter, dan sistem proteksi untuk beroperasi dengan akurat tanpa terpapar risiko tegangan tinggi. Transformator ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana perubahan fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus bolak-balik pada kumparan primer menginduksi tegangan pada kumparan sekunder. Perbandingan jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunder menentukan rasio transformasi, yang biasanya disesuaikan agar tegangan sekunder sesuai dengan kebutuhan alat ukur dan sistem proteksi.

Dalam konstruksinya, transformator potensial biasanya memiliki kumparan primer dengan jumlah lilitan yang lebih banyak dibandingkan kumparan sekunder, sesuai dengan rasio transformasi yang diinginkan. Kumparan primer dihubungkan langsung ke sistem tenaga listrik bertegangan tinggi, sementara kumparan sekunder dihubungkan ke peralatan pengukuran atau sistem proteksi. Penting untuk memastikan bahwa transformator potensial memiliki impedansi beban yang sangat rendah untuk menghindari gangguan pada sistem yang diukur dan untuk menjaga akurasi pengukuran. Selain itu, transformator ini dirancang untuk memiliki karakteristik fase yang tepat antara tegangan primer dan sekunder, memastikan bahwa pengukuran dan proteksi yang dilakukan berdasarkan sinyal tegangan tersebut akurat dan dapat diandalkan.[21]

Transformator potensial digunakan untuk menurunkan level tegangan ke nilai yang lebih rendah untuk tujuan pengukuran. Mereka tidak digunakan untuk memasok daya langsung ke beban, tetapi digunakan bersama dengan voltmeter, wattmeter, pengukur frekuensi, pemutus sirkuit, dan perangkat lainnya. Kumparan primer terhubung ke rangkaian tegangan tinggi, sementara kumparan sekunder terhubung ke peralatan pengukuran atau proteksi.[22]

2.5 Hubungan Pada Trafo 3 Fasa

Transformator tiga fasa memiliki berbagai konfigurasi sambungan yang mempengaruhi kinerja dan aplikasinya dalam sistem tenaga listrik. Berikut adalah penjelasan mengenai tiga jenis sambungan utama.

2.5.1 Transformator Hubung Bintang (Y)

Pada konfigurasi bintang, ujung-ujung kumparan dari setiap fasa dihubungkan pada satu titik netral bersama, membentuk pola seperti huruf 'Y'. Konfigurasi ini sering digunakan dalam sistem transmisi dan distribusi listrik karena memungkinkan penggunaan tegangan tinggi dengan arus yang lebih rendah, sehingga mengurangi kerugian daya dan ukuran konduktor. Selain itu, titik netral yang tersedia memudahkan penyeimbangan beban dan penyediaan tegangan fasa tunggal.

Rumus Tegangan dan Arus:

- Tegangan Lini ke Netral (VLN):

$$VLN = \frac{VLL}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

- VLN = Tegangan antara satu fasa dan netral.
- VLL = Tegangan antara dua lini (fasa ke fasa).
- $\sqrt{3}$ = Faktor yang muncul akibat hubungan geometri antar fasa dalam sistem tiga fasa.

➤ Penjelasan: Dalam sistem bintang, tegangan fasa lebih kecil dibanding tegangan lini karena hanya ada satu kumparan yang dilalui tegangan fasa ke netral.

- Arus Lini (IL) dan Arus Fasa (IF)

$$IL=IF$$

Dimana:

IL = Arus yang mengalir di kabel jalur (line current).

IF = Arus yang mengalir di setiap fasa transformator.

Artinya, arus lini sama dengan arus fasa. Konfigurasi bintang cocok untuk penyaluran daya jarak jauh karena efisiensi yang lebih tinggi pada tegangan tinggi. Namun, perlu diperhatikan bahwa ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan pergeseran titik netral, yang berdampak pada kualitas tegangan yang disuplai.

2.5.2 Transformator Hubung Delta (Δ)

Dalam konfigurasi delta, ujung akhir dari setiap kumparan fasa dihubungkan ke ujung awal kumparan fasa berikutnya, membentuk loop tertutup seperti segitiga. Konfigurasi ini umum digunakan dalam sistem distribusi industri karena kemampuannya menangani arus besar dan ketahanannya terhadap harmonisa. Selain itu, jika salah satu fasa mengalami gangguan, sistem masih dapat beroperasi dengan dua fasa yang tersisa, meskipun dengan kapasitas yang berkurang.

Rumus Tegangan dan Arus:

- Tegangan Lini (VLL) dan Tegangan Fasa (VF):

$$VLL = VF \dots\dots\dots(5)$$

- VLL = Tegangan antara dua lini (fasa ke fasa).
- VF = Tegangan pada setiap lilitan fasa transformator.

➤ Penjelasan: Dalam konfigurasi delta, tegangan antar fasa sama dengan tegangan lini karena kumparan fasa langsung tersambung ke jaringan distribusi.

Tegangan lini sama dengan tegangan fasa.

- Arus Lini (IL) dan Arus Fasa (IF):

$$IL = IF \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(6)$$

Arus lini lebih besar $\sqrt{3}$ kali dibandingkan arus fasa.

Keuntungan lain dari konfigurasi delta adalah kemampuannya untuk mengurangi pengaruh harmonisa urutan ketiga (triplen harmonics) karena harmonisa ini akan beredar dalam loop delta dan tidak diteruskan ke sisi lain transformator. Namun, konfigurasi ini tidak menyediakan titik netral, sehingga kurang cocok untuk beban yang memerlukan koneksi netral.

2.5.3. Transformator Hubung Zig-Zag

Konfigurasi zig-zag merupakan kombinasi khusus dari sambungan bintang dan delta, di mana setiap kumparan fasa dibagi menjadi dua bagian yang ditempatkan pada kaki inti yang berbeda dan dihubungkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan titik netral dengan impedansi rendah. Transformator zig-zag sering digunakan untuk grounding sistem dan penyeimbangan beban dalam sistem tiga fasa empat kawat. Selain itu, konfigurasi ini efektif dalam meminimalkan arus harmonisa, khususnya harmonisa urutan nol.

Rumus Tegangan dan Arus:

- Tegangan Lini ke Netral (VLN):

$$VLN = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (7)$$

Sama seperti konfigurasi bintang, tegangan lini ke netral adalah tegangan lini dibagi $\sqrt{3}$.

- Arus Lini (IL) dan Arus Fasa (IF):

$$IL=IF$$

Arus lini sama dengan arus fasa.

Keunikan dari transformator zig-zag adalah kemampuannya dalam membagi arus netral dan mengurangi distorsi harmonisa tanpa memerlukan komponen tambahan

seperti filter harmonisa. Hal ini menjadikannya pilihan ekonomis dan efektif untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem distribusi listrik.

Pemilihan konfigurasi sambungan transformator tiga fasa harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik sistem tenaga listrik, mempertimbangkan faktor seperti jenis beban, kebutuhan titik netral, dan pengendalian harmonisa.

2.6 Efisiensi Transformator

2.3.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Transformator.

Efisiensi transformator merupakan parameter penting yang menunjukkan seberapa efektif perangkat ini mentransfer energi listrik dari sisi primer ke sisi sekunder dengan minimalisasi kerugian. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi transformator meliputi:

1. Rugi-rugi Inti Besi (*Core Losses*)

Rugi-rugi ini terjadi akibat magnetisasi dan demagnetisasi inti besi selama operasi, yang menghasilkan panas. Rugi-rugi inti besi terdiri dari rugi histeresis dan rugi arus eddy. Penggunaan material inti dengan kualitas tinggi, seperti baja silikon berbutir terorientasi, dapat mengurangi kerugian ini.

2. Rugi-rugi Tembaga (*Copper Losses*)

Rugi-rugi ini disebabkan oleh resistansi dalam kumparan tembaga saat arus listrik mengalir, yang menghasilkan panas. Rugi-rugi tembaga sebanding dengan kuadrat arus beban dan resistansi kumparan. Desain kumparan yang efisien dan penggunaan konduktor dengan resistansi rendah dapat meminimalkan kerugian ini. Rumus yang digunakan dalam mencari rugi tembaga adalah:

$$P_{cu} = (I)^2 \times R \dots \dots \dots (8)$$

3. Pembebanan (*Loading*)

Efisiensi transformator dipengaruhi oleh tingkat pembebanan. Transformator mencapai efisiensi optimal pada beban tertentu, biasanya sekitar 75-80% dari kapasitas penuh. Pembebanan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat meningkatkan persentase rugi-rugi terhadap daya yang ditransfer, sehingga menurunkan efisiensi.[23]

Beban operasional transformator secara langsung mempengaruhi efisiensinya. Pada beban ringan, kerugian inti yang bersifat konstan menjadi dominan, sementara pada beban penuh, kerugian tembaga yang bergantung pada kuadrat arus menjadi lebih signifikan. Oleh karena itu, transformator dirancang untuk beroperasi paling efisien pada beban nominalnya. Penelitian oleh Pambudi et al. (2021) menunjukkan bahwa manajemen beban yang efektif dapat meningkatkan efisiensi operasional transformator.[24]

4. Suhu Operasional

Peningkatan suhu operasi dapat meningkatkan resistansi kumparan, yang pada gilirannya meningkatkan rugi-rugi tembaga dan menurunkan efisiensi. Sistem pendinginan yang efektif dan pemantauan suhu yang tepat sangat penting untuk menjaga efisiensi transformator.

Suhu operasional transformator memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi dan umur pakainya. Panas yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada isolasi dan komponen internal lainnya, yang pada gilirannya menurunkan efisiensi operasional transformator. Panas yang berlebihan pada kumparan transformator dapat merusak isolasi dan meningkatkan suhu pada minyak transformator, yang dapat mengubah viskositas minyak tersebut. Kenaikan suhu ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi transformator dan memperpendek umur operasionalnya.[25]

5. Frekuensi Operasional

Frekuensi operasi mempengaruhi rugi-rugi inti besi. Pada frekuensi yang lebih tinggi, rugi-rugi histeresis dan arus eddy meningkat, yang dapat menurunkan

efisiensi. Oleh karena itu, transformator dirancang untuk frekuensi operasi tertentu untuk meminimalkan kerugian ini

Secara keseluruhan, efisiensi transformator sangat dipengaruhi oleh frekuensi operasional. Pada frekuensi tinggi, peningkatan kerugian magnetik dan tembaga, serta kebutuhan desain yang lebih kompleks, dapat menurunkan efisiensi transformator. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan frekuensi operasional dalam perancangan dan pengoperasian transformator agar efisiensi tetap optimal..[26]

6. Kualitas Bahan Isolasi

Bahan isolasi yang berkualitas rendah dapat menyebabkan kerugian dielektrik dan meningkatkan risiko kegagalan isolasi, yang berdampak negatif pada efisiensi dan keandalan transformator. Penggunaan bahan isolasi berkualitas tinggi membantu mengurangi kerugian ini.

7. Desain dan Konstruksi

Desain dan konstruksi transformator memainkan peran penting dalam menentukan efisiensinya. Pemilihan material inti besi yang berkualitas tinggi, seperti baja silikon, dapat mengurangi kerugian inti akibat histeresis dan arus eddy. Desain belitan yang optimal, termasuk pemilihan ukuran kawat dan jumlah lilitan, mempengaruhi rugi-rugi tembaga yang terjadi akibat tahanan kawat. Selain itu, penggunaan bahan isolasi yang tepat dan teknik perakitan yang akurat memastikan minimnya kerugian dielektrik dan meningkatkan daya tahan transformator. Studi oleh Setijasa dan Triyono (2023) menyoroti pentingnya desain yang tepat dalam meningkatkan efisiensi transformator.

Desain yang optimal, termasuk pemilihan material, konfigurasi inti, dan teknik penggulangan, berperan penting dalam meminimalkan kerugian dan meningkatkan efisiensi transformator. Analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*) sering digunakan untuk mengoptimalkan desain transformator.[27]

8. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat transformator beroperasi, seperti kelembaban, polusi, dan suhu eksternal, dapat mempengaruhi efisiensi dan umur pakai transformator. Lingkungan yang lembab dapat meningkatkan risiko korosi pada komponen logam, sementara polusi dapat mengganggu sistem pendinginan dan meningkatkan kerusakan pada bahan isolasi. Oleh karena itu, perlindungan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem dan pemeliharaan rutin sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keandalan transformator. Studi oleh Setijasa dan Triyono (2023) menyoroti pentingnya mempertimbangkan kondisi lingkungan dalam operasional transformator.

2.3.2. Metode Pengukuran Efisiensi Transformator

Mengukur efisiensi transformator adalah langkah penting untuk memastikan kinerja optimal dalam sistem distribusi listrik. Efisiensi transformator ditentukan dengan membandingkan daya keluaran (*output*) dengan daya masukan (*input*), yang dipengaruhi oleh berbagai rugi-rugi internal. Metode pengukuran efisiensi umumnya melibatkan dua pengujian utama: uji tanpa beban (*no-load test*) dan uji beban (*load test*).

1. Uji Tanpa Beban (*No-Load Test*)

Uji ini bertujuan untuk mengukur rugi-rugi inti transformator, yang terdiri dari rugi histeresis dan rugi arus eddy. Prosedurnya melibatkan penerapan tegangan nominal pada sisi primer transformator sementara sisi sekunder dibiarkan terbuka (tanpa beban). Arus yang mengalir pada kondisi ini, meskipun kecil, menyebabkan rugi-rugi pada inti besi. Data yang diperoleh dari uji ini digunakan untuk menghitung rugi-rugi inti dan menentukan efisiensi transformator pada kondisi tanpa beban.[28]

2. Uji Beban (*Load Test*)

Uji beban dilakukan untuk mengukur rugi-rugi tembaga yang terjadi pada lilitan primer dan sekunder saat transformator beroperasi dengan beban tertentu. Dalam pengujian ini, transformator dioperasikan dengan beban yang sesuai, dan

parameter seperti tegangan, arus, dan daya pada sisi primer dan sekunder diukur. Data ini digunakan untuk menghitung rugi-rugi tembaga dan efisiensi transformator pada berbagai tingkat pembebanan.[29]

Setelah kedua uji tersebut dilakukan, efisiensi transformator dapat dihitung dengan rumus:

$$Efisiensi = \frac{input}{output} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Di mana daya masukan adalah jumlah dari daya keluaran dan total rugi-rugi (rugi inti dan rugi tembaga). Penting untuk dicatat bahwa efisiensi transformator bervariasi tergantung pada tingkat pembebanan; efisiensi maksimum biasanya dicapai pada beban.[30]

Penelitian yang dilakukan oleh Jalu Puja Aji di Gardu Induk Mojosoongo menggunakan metode pengukuran ini untuk menganalisis efisiensi transformator daya. Studi tersebut melibatkan pengambilan data arus, tegangan, dan daya output untuk menghitung rugi-rugi dan efisiensi transformator secara akurat.

3. Pengujian Hubung Singkat (*Short-Circuit Test*): Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan sisi sekunder transformator secara singkat dan mengoperasikan sisi primer pada tegangan rendah. Tujuannya adalah untuk mengukur rugi tembaga, yang disebabkan oleh arus beban pada lilitan tembaga. Pengukuran dilakukan dengan merekam daya yang dikonsumsi oleh transformator saat beroperasi dalam kondisi hubung singkat. Data ini digunakan untuk menghitung rugi tembaga, yang merupakan komponen penting dalam menentukan efisiensi transformator.

4. Metode Pengukuran Langsung: Metode ini melibatkan pengukuran langsung daya masukan dan daya keluaran transformator menggunakan alat ukur seperti wattmeter dan ammeter. Pengukuran dilakukan pada kondisi operasi normal transformator, dan data yang diperoleh digunakan untuk menghitung efisiensi secara langsung. Pendekatan ini memberikan hasil yang cepat dan praktis, namun memerlukan peralatan pengukuran yang akurat dan kalibrasi yang tepat.

5. Metode Pengukuran Tidak Langsung: Metode ini melibatkan perhitungan efisiensi berdasarkan data pengujian seperti pengujian tanpa beban dan pengujian hubung singkat. Dengan menggunakan data dari kedua pengujian tersebut, dapat dihitung rugi-rugi daya pada kondisi beban penuh dan, selanjutnya, efisiensi transformator. Pendekatan ini memungkinkan penilaian efisiensi tanpa perlu mengoperasikan transformator pada kondisi beban penuh, yang dapat mengurangi risiko dan biaya operasional.[24]

Setiap metode pengukuran efisiensi transformator memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri. Pemilihan metode yang tepat harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti tujuan pengujian, kondisi operasional transformator, dan sumber daya yang tersedia. Penting untuk memastikan bahwa prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan standar dan pedoman yang berlaku untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

Dalam praktiknya, kombinasi dari beberapa metode pengukuran sering digunakan untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang efisiensi transformator. Misalnya, pengujian tanpa beban dan pengujian hubung singkat dapat dilakukan untuk menghitung rugi inti dan rugi tembaga, yang kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi pada berbagai tingkat beban. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam tentang kinerja transformator dalam berbagai kondisi operasional.

Penting untuk dicatat bahwa efisiensi transformator dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kualitas material, desain konstruksi, dan kondisi operasional seperti suhu dan beban. Oleh karena itu, pengukuran efisiensi harus dilakukan secara berkala dan dalam kondisi yang representatif untuk memastikan kinerja optimal dan identifikasi dini terhadap potensi masalah atau penurunan efisiensi.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi transformator, penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan desain transformator. Misalnya, penggunaan material inti dengan kerugian rendah dan desain lilitan yang optimal dapat membantu mengurangi rugi inti dan rugi

tembaga, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi transformator. Studi oleh Saputro dan Agus (2018) menunjukkan bahwa analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator dapat membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja transformator dan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.

Dengan memahami dan menerapkan metode pengukuran efisiensi transformator secara tepat, operator sistem tenaga listrik dapat mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan memastikan operasi transformator yang efisien dan andal.

2.4. Penerapan Transformator pada Sistem Shore Connection

2.4.1. Peran Transformator dalam Sistem Shore Connection

Transformator memainkan peran krusial dalam sistem **shore connection**, yaitu sistem yang memungkinkan kapal yang berlabuh di pelabuhan untuk menerima pasokan listrik dari darat. Peran utama transformator dalam konteks ini adalah menyesuaikan perbedaan tegangan antara sumber listrik di darat dan sistem kelistrikan di kapal. Biasanya, sistem kelistrikan di darat beroperasi pada tegangan tinggi, seperti 11 kV atau 6,6 kV, sementara sistem di kapal beroperasi pada tegangan yang lebih rendah. Transformator digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi dari darat ke tingkat yang sesuai dengan kebutuhan kapal, memastikan kompatibilitas dan keamanan operasional.

Selain fungsi penyesuaian tegangan, transformator dalam sistem shore connection juga berperan dalam memastikan kualitas daya yang disuplai ke kapal. Hal ini mencakup stabilitas frekuensi dan tegangan, yang sangat penting untuk operasi peralatan di kapal. Penggunaan transformator yang tepat dapat mengurangi risiko gangguan listrik dan kerusakan peralatan akibat fluktuasi tegangan atau frekuensi. Dengan demikian, transformator tidak hanya berfungsi sebagai penyesuai tegangan, tetapi juga sebagai penjaga kualitas daya yang diterima oleh sistem kelistrikan kapal.

Implementasi transformator dalam sistem *shore connection* juga berkontribusi pada efisiensi energi dan pengurangan emisi. Dengan menyediakan pasokan listrik dari darat melalui transformator, kapal dapat mematikan mesin bantu (*auxiliary engine*) mereka saat berlabuh, yang biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik di kapal. Hal ini tidak hanya mengurangi konsumsi bahan bakar, tetapi juga mengurangi emisi gas buang dan polusi udara di area pelabuhan. Studi oleh Pambudi et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan *shore connection* dapat secara signifikan mengurangi dampak lingkungan dari operasi kapal di pelabuhan.

Dalam hal desain dan implementasi, pemilihan transformator yang sesuai sangat penting untuk memastikan kompatibilitas antara sistem kelistrikan darat dan kapal. Faktor-faktor seperti kapasitas daya, rasio transformasi tegangan, dan isolasi listrik harus dipertimbangkan dengan cermat. Selain itu, transformator harus dirancang untuk menangani kondisi lingkungan yang spesifik di pelabuhan, seperti kelembaban tinggi dan paparan korosi. Penelitian oleh D'Agostino et al. (2021) menyoroti pentingnya pemilihan resistansi grounding dan evaluasi arus hubung singkat dalam sistem *shore connection* bertegangan tinggi untuk memastikan keselamatan dan keandalan operasional.

Secara keseluruhan, transformator adalah komponen vital dalam sistem *shore connection*, memastikan penyesuaian tegangan yang tepat, menjaga kualitas daya, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung inisiatif pengurangan emisi di pelabuhan.

2.4.3. Studi Kasus Implementasi Transformator pada Shore Connection di Industri Maritim

Implementasi transformator dalam sistem *shore connection* di industri maritim memiliki peran krusial dalam menyediakan pasokan listrik yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kapal saat berlabuh. Transformator berfungsi untuk menyesuaikan tegangan listrik dari sumber daya di darat dengan sistem kelistrikan di kapal, memastikan kompatibilitas dan keamanan operasional. Misalnya, di Terminal Teluk Lamong Surabaya, telah diterapkan sistem *shore connection* yang

menggunakan transformator untuk mengalirkan listrik dari darat ke kapal, menggantikan peran mesin bantu kapal yang biasanya menggunakan bahan bakar fosil. Langkah ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga mengurangi emisi gas buang yang berbahaya bagi lingkungan.[6]

Dalam perencanaan shore power connection di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong, transformator digunakan sebagai komponen utama untuk menyesuaikan tegangan dan frekuensi listrik antara sumber di darat dan sistem di kapal. Sistem ini terdiri dari konverter frekuensi, transformator, busbar, dan shore connection box. Konverter frekuensi berfungsi untuk menyelaraskan frekuensi listrik yang digunakan pada kapal dan pelabuhan, sementara transformator menyesuaikan tegangan listrik agar sesuai dengan kebutuhan kapal. Dengan demikian, transformator memastikan bahwa pasokan listrik yang diterima kapal aman dan sesuai spesifikasi, menghindari potensi kerusakan pada peralatan kapal akibat perbedaan tegangan atau frekuensi.

Analisis teknis penggunaan shore connection di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong menunjukkan bahwa transformator yang digunakan memiliki kapasitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan daya listrik kapal yang bersandar. Transformator dengan kapasitas 1250 kVA dan tegangan sisi primer 20.000 V serta tegangan sisi sekunder 400 V digunakan untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kapal. Selain itu, pemilihan kapasitas transformator didasarkan pada beban yang akan dilayani, dengan presentase pembebanan mendekati 80% untuk mencapai efisiensi maksimum dan meminimalkan rugi-rugi energi.[2]

Implementasi transformator dalam sistem shore connection juga berkontribusi pada peningkatan keandalan operasional kapal. Dengan memanfaatkan pasokan listrik dari darat melalui transformator, kapal dapat mematikan mesin bantu selama berlabuh, sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya operasional kapal tetapi juga mendukung program pemerintah dalam mengurangi pencemaran udara dan mencapai target pelabuhan hijau (green port). Studi kasus pada PT Pupuk

Indonesia Logistik menunjukkan bahwa penggunaan shore connection dapat menurunkan biaya operasional kapal secara signifikan dan meningkatkan keandalan mesin kapal.[10]

Namun, implementasi transformator dalam sistem shore connection memerlukan perencanaan dan analisis yang cermat. Perbedaan standar teknis antara kapal dan fasilitas shore connection, seperti tegangan, frekuensi, dan jenis konektor, harus diperhatikan untuk memastikan kompatibilitas dan keamanan sistem. Selain itu, pemilihan kapasitas transformator yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa transformator dapat menangani beban listrik kapal tanpa mengalami kelebihan beban atau efisiensi yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan kerjasama antara pihak pelabuhan, perusahaan pelayaran, dan penyedia peralatan kelistrikan untuk memastikan implementasi transformator dalam sistem shore connection berjalan dengan optimal dan aman.

Secara keseluruhan, transformator memainkan peran penting dalam sistem shore connection di industri maritim. Dengan menyesuaikan tegangan dan frekuensi listrik antara sumber daya di darat dan sistem kelistrikan kapal, transformator memastikan pasokan listrik yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kapal. Implementasi yang tepat dari transformator dalam sistem *shore connection* tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional kapal tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas buang dan pencapaian target pelabuhan hijau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

3.1.1 Waktu

Waktu yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari 12 Januari 2025 sampai 26 Agustus 2025.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3								
4	Analisa Data								
5	Seminar Proposal								
6	Seminar Hasil								
7	Sidang Akhir								

3.1.2 Tempat



Gambar 3. 1 PT. Waruna Shipyard Indonesia

Tempat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini di PT Waruna Shipyard Indonesia Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411.

Perusahaan PT Waruna Shipyard Indonesia didirikan pada tahun 1990. Sejak tahun itu, kami berkembang menjadi galangan kapal yang merupakan salah satu Dry Dock terbesar di Indonesia, dengan kapasitas hingga 100.000 DWT. PT Waruna Shipyard Indonesia memiliki 6 Dock Kolam (*Graving Dock/Dry Dock*) yang memakai *shore connection* dan penelitian ini berfokus ke dock VII yang memiliki kapasitas paling besar diantara yang lain



Gambar 3. 2 Dock VII

3.3 Prosedur Kerja Alat

Implementasi transformator dalam sistem *shore connection* memerlukan prosedur kerja yang cermat untuk memastikan penyaluran daya listrik dari darat ke kapal berjalan aman dan efisien. Berikut adalah tahapan prosedur kerja transformator dalam sistem *shore connection* yang disarikan dari berbagai penelitian terdahulu:

1. Persiapan dan Pemeriksaan Awal

- Verifikasi Tegangan dan Frekuensi

Pastikan tegangan dan frekuensi listrik di darat sesuai dengan kebutuhan sistem kelistrikan kapal. Jika terdapat perbedaan, diperlukan penyesuaian melalui transformator atau konverter frekuensi.

- Pemeriksaan Konektor dan Kabel

Periksa kondisi fisik konektor dan kabel untuk memastikan tidak ada kerusakan yang dapat mengganggu penyaluran daya.

2. Proses Penyambungan Daya

- Pengaturan Transformator
Atur transformator untuk menyesuaikan tegangan dari sumber daya di darat ke tegangan yang dibutuhkan oleh kapal. Misalnya, menurunkan tegangan dari 6,6 kV menjadi 400 V sesuai spesifikasi kapal.
 - Penggunaan Konverter Frekuensi:
Jika frekuensi sumber daya di darat berbeda dengan yang dibutuhkan kapal, gunakan konverter frekuensi untuk menyelaraskan frekuensi listrik sebelum disalurkan ke kapal.
 - Penyambungan Kabel
Hubungkan kabel dari panel distribusi di darat ke sistem kelistrikan kapal melalui konektor yang sesuai, memastikan sambungan dilakukan dengan benar dan aman.
3. Pengoperasian dan Pemantauan
- Pengaktifan Sistem
Setelah semua sambungan terpasang dengan benar, aktifkan sistem *shore connection* dan pastikan daya listrik mengalir ke kapal sesuai kebutuhan.
 - Pemantauan Kinerja
Pantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan frekuensi secara real-time untuk memastikan stabilitas dan efisiensi penyaluran daya.
 - Penggunaan Sistem Proteksi
Pastikan sistem proteksi seperti relay arus lebih dan grounding resistor berfungsi dengan baik untuk mencegah dan menangani gangguan listrik.
4. Pemutusan Sambungan dan Evaluasi
- Penghentian Penyaluran Daya
Setelah kapal selesai berlabuh atau proses bongkar muat selesai, hentikan penyaluran daya dari darat ke kapal dengan prosedur yang aman.
 - Pemeriksaan Pasca Operasi
Lakukan pemeriksaan terhadap peralatan dan sambungan untuk memastikan tidak ada kerusakan atau keausan yang terjadi selama operasi.
 - Evaluasi Kinerja

Tinjau data operasional untuk menilai kinerja sistem *shore connection* dan identifikasi area yang memerlukan perbaikan atau peningkatan.

Prosedur kerja ini dirancang untuk memastikan bahwa penyaluran daya listrik melalui transformator dalam sistem *shore connection* berjalan dengan aman, efisien, dan sesuai dengan standar yang berlaku.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian Efisiensi transformator pada *Shore Connection Dock* kapal adalah sebagai berikut, yaitu :

1. Studi pendahuluan

Yang dimaksud dalam studi pendahuluan adalah melakukan bimbingan kepada dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat menganalisa sistem Efisiensi transformator pada *Shore Connection Dock* kapal.

2. Data kepustakaan

Data kepustakaan merupakan pengumpulan data-data dengan cara membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, maupun tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang di dapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.

3. Penelitian lapangan (*field research*)

Penelitian lapangan adalah penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu melakukan secara langsung analisa Efisiensi transformator pada *Shore Connection Dock* kapal.

3.5 Analisa Data

Investigasi informasi dilakukan setelah pengumpulan informasi di, di PT Waruna Shipyard Indonesia Informasi yang diperoleh diubah menjadi struktur numerik dan dibedah memanfaatkan kondisi yang ada. Dalam menganalisis informasi yang diperoleh, tidak ada strategi yang digunakan, karena perhitungan yang digunakan merupakan perkiraan biasa.

1. Analisa beban puncak

Pemeriksaan beban trafo diselesaikan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu memanfaatkan kondisi tersebut. Syarat ini untuk menentukan arus total, artinya setelah diperoleh arus habis maka diperoleh syarat untuk menentukan arus tipikal, yaitu:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

I_{FL} : arus beban penuh

I_{beban} : arus beban

S : daya

V : tegangan sekunder

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

$$I_{rata\ rata} = \frac{I_{rata\ rata}}{I_{full\ load}} \times 100\% \dots \dots \dots (10)$$

2. Analisis Rugi-rugi Daya dan efisiensi transformator

Kehadiran aliran arus pada transformator yang tidak memihak menyebabkan hilangnya daya. Berapa banyak kerugian energi yang dapat diatasi dengan menggunakan kondisi tersebut. Apabila besarnya kerugian daya diketahui, besarnya pengaruh kerugian dapat ditentukan dengan membandingkan pengaruh kerugian daya dan pengaruh transformator.

$$P_i = \frac{Beban\ (KVA)}{Beban\ penuh\ (KVAFL)} \times P_{cuFL} \dots \dots \dots (11)$$

Efisiensi transformator adalah ujian antara daya mendekat dan daya aktif. Pemeriksaan kemahiran harus diselesaikan dengan tujuan agar diketahui berapa banyak daya yang hilang pada trafo pengangkut. Estimasi produktivitas diselesaikan dengan memanfaatkan kondisi tersebut

$$\text{Efisiensi } \eta \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100 \% \dots\dots\dots (12)$$

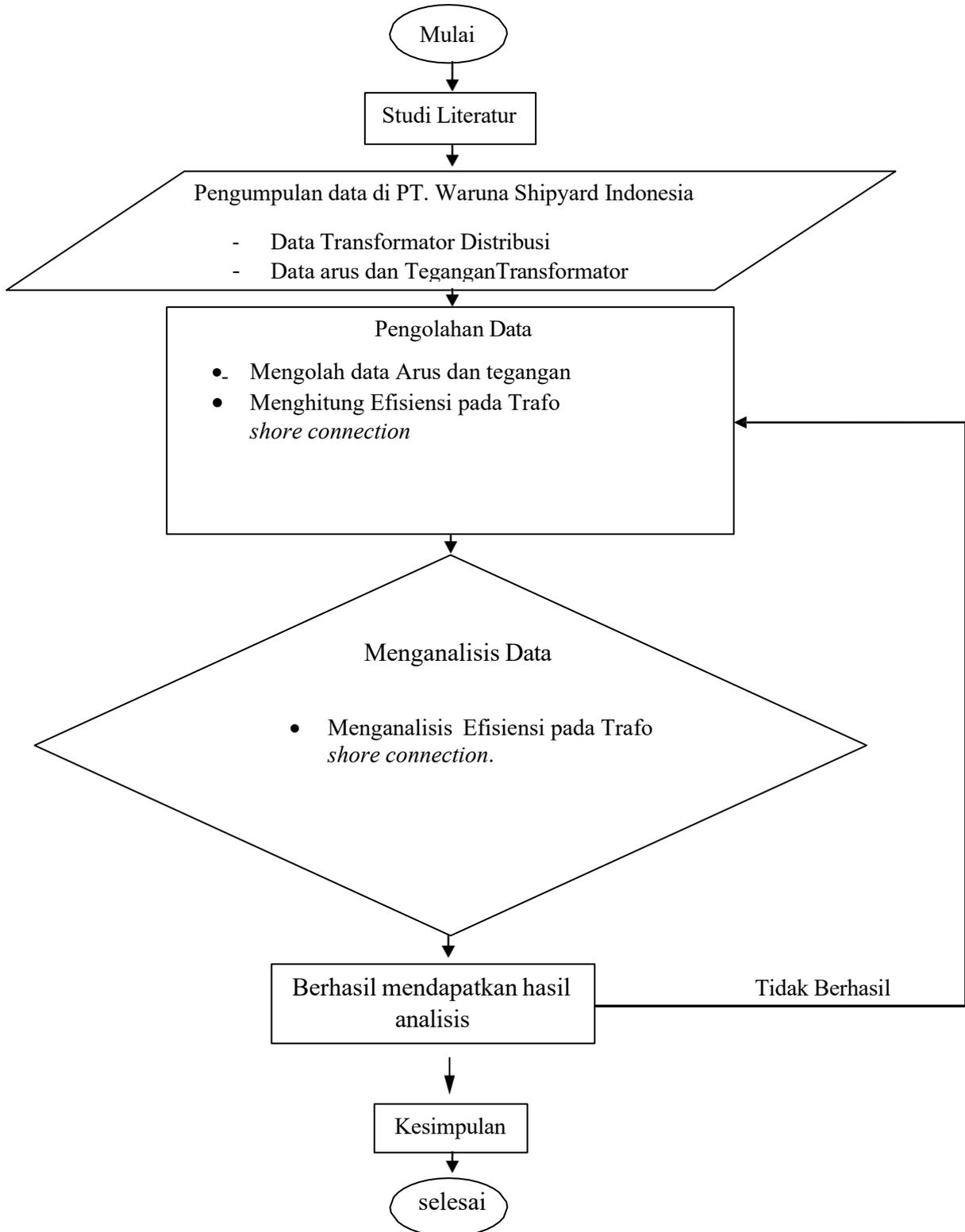
Dimana :

η : Efisiensi

P_{in} : daya masukan

P : daya keluaran

3.6 Flowchart



1. Mulai (Start)

Proses dimulai dengan studi literatur, yaitu mencari referensi dari jurnal, buku, dan standar terkait untuk memahami teori dan metode analisis efisiensi transformator.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, data diperoleh langsung dari PT Waruna Shipyard Indonesia, mencakup:

- Data Transformator Distribusi → Informasi spesifikasi transformator yang akan diuji.
- Data Arus dan Tegangan Transformator → Pengukuran langsung untuk digunakan dalam perhitungan efisiensi.

3. Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan, dilakukan pengolahan dengan langkah-langkah berikut:

1. Analisis Beban Puncak (Peak Load Analysis)

- Tujuan: Mengetahui waktu dengan beban listrik tertinggi pada transformator.
- Langkah:
 - Ambil data arus beban (Ampere) pada waktu pengukuran pagi, siang, dan malam.
 - Bandingkan nilai arus di ketiga waktu tersebut.
 - Tentukan arus tertinggi dan hitung daya semu (kVA) menggunakan rumus:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(13)$$

di mana:

S = daya semu (kVA)

V = tegangan (Volt)

I = arus beban (Ampere)

2. Menghitung Arus Rata-Rata (I_{rata_rata})

- Tujuan: Mengetahui nilai arus rata-rata selama periode pengukuran.
- Langkah:
 - Jumlahkan seluruh data arus pada waktu tertentu (misalnya data pagi diambil 5 kali pengukuran).
 - Bagi jumlah tersebut dengan jumlah data pengukuran:

$$I_{rata-rata\ pagi} = \frac{IR+IT+IS}{3} \dots\dots\dots(14)$$

3. Menghitung Persentase Beban yang Digunakan

- Tujuan: Menentukan seberapa besar beban yang dipakai dibandingkan dengan kapasitas maksimum transformator.
- Rumus:

$$\frac{I_{rata\ rata}}{I_{full\ load}} \times 100\% \dots\dots\dots(15)$$

4. Menghitung Efisiensi Transformator (η)

- Tujuan: Mengetahui seberapa efisien transformator mengubah daya masuk (input) menjadi daya keluar (output).
- Langkah:

1. Hitung Pin (Power Input):

$$P_{in} = \text{beban } i \text{ KVA} \times \cos \phi + P_{tot} \dots\dots\dots(16)$$

Losses terdiri dari:

- P_{cu} (Copper Loss):
 $P_{cu} = I^2 \times R$
- P_{fe} (Iron/Core Loss): nilai ini biasanya konstan sesuai spesifikasi transformator.

2. Hitung Pout (Power Output):

$$P_{out} = \text{beban } i \text{ KVA} \times \cos \phi \dots\dots\dots(17)$$

di mana :

$\cos \phi$ = faktor daya

3. Hitung efisiensi:

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

5. Interpretasi Hasil

- Bandingkan nilai efisiensi pada waktu pagi, siang, dan malam.
- Identifikasi waktu dengan efisiensi tertinggi dan terendah.
- Gunakan hasil ini sebagai dasar rekomendasi pengaturan beban agar transformator bekerja optimal.

4. Analisis Data

Setelah data diolah, dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan, meliputi:

- Analisis Efisiensi Transformator → Bagaimana efisiensi transformator

5. Evaluasi Hasil Analisis

Apabila gagal mendapatkan hasil analisis, perlu dilakukan perbaikan data atau metode pengolahan. Dan jika berhasil mendapatkan hasil analisis, maka penelitian dapat dilanjutkan ke tahap kesimpulan.

6. Kesimpulan

Setelah analisis berhasil, dibuat kesimpulan mengenai kinerja transformator berdasarkan regulasi tegangan, efisiensi daya, dan suhu operasionalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Herianto Hutagalung, Y. Sutria, and N. Kesuma, “Proses Pengurusan Docking Kapal Di Dok Waruna Oleh Pt. Admiral Lines Cabang Belawan,” *J. Marit. Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 575–582, 2024.
- [2] D. S. A. Pambudi, E. P. Hidayat, and A. N. Yankumara, “Analisis Teknis Penggunaan Shore Connection Di Pelabuhan Terminal Teluk Lamong,” *Politek. Perkapalan Negeri Surabaya*, pp. 1–5, 2021.
- [3] M. Fahrulrozi, “Science electro,” vol. 01, no. 193, 2013.
- [4] M. Ardiansyah and N. R. A.S, “Analisa Pembebanan Daya Total Terhadap Transformator,” *Sinusoida*, vol. 23, no. 1, pp. 22–31, 2021.
- [5] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, Y. Yusniati, and M. Arfianda, “Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk,” *Ready Star2*, pp. 179–186, 2015.
- [6] N. . Yati, O. . Sihaloho, F. Asdiana, and R. . Amrullah, “Analisis Pengaruh Shore Connection Terhadap Penerapan Pelabuhan Hijau,” *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 11, pp. 463–479, 2024.
- [7] T. M. Mujahid, A. S. Setiyoko, and P. Darmajanti, “Analisis Teknis Dan Simulasi Load Flow Penerapan Shore Connection Di Pelabuhan Terminal Berlian-Surabaya,” *Je-Unisla*, vol. 7, no. 2, p. 83, 2022.
- [8] A. JOSE ROMERO PEREZ Director General JOSE GREGORIO ROIS ZUÑIGA Secretaria General OMAR OBANDO DAEZ Subdirector de Calidad Ambiental JAIME PINTO BERMUDEZ Subdirector de Gestión Desarrollo LUIS MANUEL MEDINA TORO Jefe oficina Asesora de Planeación, A. ARCINIEGAS MOLINA Asesor Territorial del Sur MAILENE LAUDITH ROBLES PINTO Jefe oficina Asesora Jurídica JORGE MIGUEL GUEVARA FRAGOZO Asesor de Desarrollo Institucional PROYECTADO POR, J. DORANCÉ MANRIQUE OSORIO

- Geólogo GRUPO SIG CORPOGUAJIRA, NJCLD, and Title,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 85, no. 1, p. 6, 2016.
- [9] Hendrawati, “No Title,” *J. Akunt.*, vol. 11, 2017.
- [10] A. M. Dewi, P. Prasongko, and M. A. L. Pambudi, “Optimalisasi Fasilitas Listrik Dermaga dan Peningkatan Keandalan Auxiliary Engine Kapal terhadap Efisiensi Biaya Operasional Kapal di Pelabuhan Tanjung Emas,” *Saintara J. Ilm. Ilmu-Ilmu Marit.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–6, 2023.
- [11] J. Barnes, “Safer shipping , cleaner seas,” 2023.
- [12] Ilham Wijaya Putra, “Efisiensi Energi Listrik Dalam Upaya Meningkatkan Power Quality dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya Ardhin Najadiya Setya Achmad Imam Agung Abstrak,” *manfaat shore Connect.*, pp. 193–202, 2017.
- [13] Siburian Jhonson, “Karakteristik Transformator,” *J. Teknol. Energi Uda*, vol. VIII, no. 1, pp. 21–28, 2019.
- [14] K. A. Kodoati, I. F. Lisi, and I. M. Pakiding, “Analisa Perkiraan Umur Transformator,” vol. 1, pp. 35–43, 2015.
- [15] M. N. Faizi, “Pemanfaatkan Arus Netral Transformator Step Up Pada Gardu Distribusi Untuk Daya Listrik,” *Inovtek Polbeng*, vol. 9, no. 1, p. 8, 2019.
- [16] H. Danny, H. K., Mujiman, wiwik, “Analisis Penambahan Transformator Daya Baru (60 MVA) Untuk Menambahkan Suplai Daya Area Distribusi Pada Gardu Induk Kentungan 150 KV,” *J. Elektr.*, vol. 4 (1), no. 1, pp. 65–73, 2019.
- [17] A. Emirwati, L. Sartika, and A. M. Prasetia, “Analisis keandalan sistem trafo step down menggunakan metode logika fuzzy,” *J. Eltek*, vol. 21, no. 2, pp. 68–75, 2023.

- [18] M. Mustari, R. Kurniawan, and R. Ramlan, "Analisis Efisiensi Transformator Dalam Pembangkit Listrik Di PT. PLN Indonesia Power UPGK Keramasan," *J. Penelit. Sains*, vol. 26, no. 2, p. 137, 2024.
- [19] Rianti., I. Arsyad, and Danial., "Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik berdasarkan Hasil Uji," *J. Tek. Elektro Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [20] M. S. Sanjarinia, S. Saadatmand, P. Shamsi, and M. Ferdowsi, "Analisis-de-estructuras-de-transformadore."
- [21] V. Pelitli, Ö. Doğan, and H. J. Köroğlu, "Transformer Oils Potential for PCBs Contamination," *Int. J. Metall. Mater. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–4, 2015.
- [22] M. R. Za'im, "Analisis Transformator daya 3 fasa 150KV/20KV," no. 2014, p. 50, 2017.
- [23] A. Monica Putri, Yassir, and Maimun, "Studi Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Transformator 66 MVA di PLTMG Sumbagut 2 Peaker 250 MW," *J. Tektro*, vol. 4, no. 2, p. 118, 2020.
- [24] J. Napitupulu, D. Tinambunan, and L. Sitinjak, "Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa," *Maret*, vol. 10, no. 1, pp. 8–16, 2021.
- [25] J. M. Tambunan, A. Hariyanto, and W. K. Tindra, "Kerja Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur," *Sutet*, vol. 5, no. 2, pp. 91–99, 2015.
- [26] L. H. Gunanto *et al.*, "Pengaruh Frekuensi Terhadap Effisiensi Dan Regulasi Tegangan Transformator," *J. Ilm. Flash*, vol. 9, no. 1, p. 60, 2023.
- [27] A. F. Hacan, B. Kabas, and S. Oguten, "Design Optimization of a Three-Phase Transformer Using Finite Element Analysis," 2022.
- [28] D. Darsono, S. Suyamto, and T. Taufik, "Analisis Efisiensi Trafo Frekuensi Tinggi Pada Sumber Tegangan Tinggi Cockcroft Walton Mbe Lateks,"

GANENDRA Maj. IPTEK Nukl., vol. 17, no. 2, p. 101, 2016.

- [29] P. L. N. Persero and U. L. P. Mattoanging, “39399-Full_Text,” 2024.
- [30] J. P. Antarnusa, “Studi efisiensi transformator daya di gardu induk mojosongo 150 kv,” *Publ. Ilm.*, pp. 1–17, 2022.

LAMPIRAN



Kepada Yth,

GENERAL AFFAIR DEPT.
(GA - Security)
Di Tempat

Dengan Hormat,

Dengan ini kami mengajukan permohonan akses masuk ke area perusahaan PT. Waruna Shipyards Indonesia untuk calon karyawan sebagai berikut:

No	NAMA KANDIDATE	Jabatan	Tujuan	Visit	
1	Fajar Fatham Mubina	Mahasiswa	Penelitian Tugas Akhir	28 Juli 2025	13.30 wib
2	Muhammad Imam Al Hafiz	Mahasiswa	Penelitian Tugas Akhir	28 Juli 2025	13.30 wib
3	Dai Rinaldi	Mahasiswa	Penelitian Tugas Akhir	28 Juli 2025	13.30 wib

Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Belawan, 28 Juli 2025

MHD.FIQI AGUNG HASTOMO
HR Recruitment Staff.

Cc: 1. Manager GA
2. Arsip



PT. WARUNA SHIPYARD INDONESIA
Shipyards - Marine Engineering

Kepada Yth,

GENERAL AFFAIR DEPT.
(GA - Security)
Di Tempat

Dengan Hormat,

Dengan ini kami mengajukan permohonan akses masuk ke area perusahaan PT. Waruna Shipyards Indonesia untuk calon karyawan sebagai berikut:

No	NAMA KANDIDATE	Jabatan	Tujuan	Visit	
1	Fajar Fatham Mubina	Mahasiswa	Penelitian Tugas Akhir	17 Juli 2025	13.30 wib

Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Belawan, 17 Juli 2025

MHD.FIOI AGUNG HASTOMO
HR Recruitment Staff.

Cc: 1. Manager GA
2. Arsip





DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**DATA DARI PENULIS**

Nama Lengkap : Fajar Fatham Mubina
Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220075
Tempat Tanggal Lahir : Teluk Panji II, 18 Juli 2001
Alamat : Teluk Panji II
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
No Telp : +62 821-6474-8020
Email : Fajarfatham28@gmail.com

Orang Tua

Nama Ayah : Asadi
Agama : Islam
Nama Ibu : Jumirah
Agama : Islam
Alamat : Teluk Panji II

Daftar Riwayat Pendidikan

2007-2013 : SDN 118434 Teluk Panji II
2013-2016 : MTS Al-Majidiyah
2016-2019 : MA Al-Majidiyah
2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara

