TA/SEKJUR/TE/2018/011

PENINGKATAN KUALITAS DAN KARAKTERISASI TRANSFORMATOR *STEP UP* SATU FASE 250 VA, 10 kV, 50 Hz

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan

mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Firzananda

14524101

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENINGKATAN KUALITAS DAN KARAKTERISASI TRANSFORMATOR *STEP UP* SATU FASE 220VA, 10 kV, 50 Hz

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Firzananda
14524101

Yogyakarta, 12 Mei 2018

Menyetujui,

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Wahyudi Budi Paramono, ST., M.Eng	**Ir. Suyamto**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PENINGKATAN KUALITAS DAN KARAKTERISASI TRANSFORMATOR STEP UP SATU FASE 250 VA, 10 kV, 50 Hz

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Firzananda

14524101

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 23 Mei 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Ir. Suyamto , _____

Anggota Penguji 1: Husein Mubarok, S.T., M.Eng. , _____

Anggota Penguji 2: Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc. , _____

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 31 Mei 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Ing. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

NIK. 025200526

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 12 Mei 2018



Firzananda

MOTTO

"Sebaik-baik Manusia adalah yang Bermanfaat Bagi Orang Lain"

(HR. Ahmad, Ath- Thabrani, ad Daruqutni)

"Barang Siapa yang Bersungguh-sungguh, Pasti Akan Berhasil"

(Pepatah Bijak Arab)

"Ada jeda yang terjadi, saat usaha dan do'a mencapai titik puncaknya. Jeda itu yang sebenarnya menjadi penentu kebimbangan masa. Hanya saja, hal itu bukan menjadi ranah kita untuk melakukan aksi nyata. Allah yang akan memperlihatkan realitanya, setelah Allah perintahkan kita untuk maksimal dalam berdo'a dan berusaha. Ketika jeda itu tiba, tawakal menjadi langkah bijak selanjutnya".

(FN)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji hanya bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga penulis dapat menjalankan semua kewajiban sampai dengan selesai. Shalawat beriringan salam, tidak lupa kita haturkan kepada junjungan kita Rasulullah *Salallahu'alaihi Wassalam*, yang telah mengenalkan santunnya akhlak dan baiknya peran muslim dalam perdaban kehidupan dunia.

Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu komponen penilaian dan syarat yang harus ditunaikan dalam menyelesaikan studi strata satu dengan konsen ilmu teknik elektro. Penulis menyadari bahwa dalam penelitian yang dilakukan dan penulisan laporan ini masih terdapat beberapa kekurangan. Namun, dengan bantuan beberapa pihak semua kendala dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang selalu memberikan hidayah, kenikmatan yang begitu besar serta kemudahan selama proses tugas akhir ini berlangsung, sehingga penulis bisa menyelesaikan studi ini.
2. Rasulullah *Salallahu'alaihi Wassalam* yang telah mengenalkan Islam secara kaffah, mengajarkan hikmah kehidupan dan mengenalkan tentang esensi dari kehidupan.
3. Orang tua dan keluarga besar tercinta dimanapun berada, terima kasih untuk kasih sayang, motivasi, nasihat, dukungan, dan jasa sekecil apapun itu, semoga Allah *Ta'ala* membalasnya.
4. Bapak Ir. Agus Taufiq, M.Sc selaku Wakil Rektor III yang telah ikut serta dalam mendukung penulis selama terlibat dalam kegiatan mahasiswa selama ini.
5. Bapak Beni Suranto, ST., M.Soft.Eng, selaku Direktur Pengembangan Bakat Minat Kesejahteraan Mahasiswa yang telah mendukung, membantu, dan membimbing penulis selama terlibat dalam kegiatan mahasiswa.
6. Bapak Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T., selaku kajur Teknik Elektro, untuk didikan dan pelajaran yang diberikan.
7. Bapak R.M. Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Akademik untuk bimbingan dan berbagi pengalamannya.
8. Bapak Wahyudi Budi Paramono., S.T., M.Eng., dan Bapak Ir. Suyamto, sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing dan mencurahkan segenap kemampuan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

9. Seluruh jajaran dosen Teknik Elektro UII, atas semua ilmu dan didikannya.
10. Laboratorium Mahasiswa (LabMa), Kelompok Studi Universitas untuk pelajaran dan pengalaman yang sampai saat ini tetap memiliki kisah tersendiri dalam proses panjang penulis selama studi.
11. Keluarga baru Tim PM UII Aceh 2017 yang telah menjadi bagian dari cerita panjang ini. Semoga kekeluargaan kita tetap terjaga dalam kondisi apapun dan semoga kisah perjuangan ini melahirkan sesuatu yang bermakna dan bermanfaat bagi masyarakat.
12. Hawasi yang telah mengenalkan penulis kepada pembelajaran sederhana tapi sarat makna.
13. Keluarga Teknik Elektro UII 2014, untuk kebersamaan dan pengalaman baru kita.
14. Sahabat terbaik (baik berasal dari jurusan yang sama maupun berbeda) yang hadir disetiap proses selama penulis menyelesaikan amanah demi amanah.
15. Erdian Prabowo, Agyl Pamungkas, Renaldo, dan Pasukan Laboratorium Ketenagaan lainnya, yang bersedia membantu penulis dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
16. Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat dan tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah membantu penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

Jazakumullahu Khairan Katsiran. Semoga Allah *Subhanahu Wata'ala* membalas kebaikan seluruh pihak. Penulis sangat menyadari bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan memotivasi dalam pengembangan dimasa yang akan datang.

Wassalamu'alaikum warahmatulahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 12 Mei 2018

Penulis

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Arti Singkatan
MBE	Mesin Berkas Elektron
SAE	*Society of Automotive Engineer*
GGL	Gaya Gerak Listrik

ABSTRAK

Transformator merupakan perangkat yang dapat memindahkan energi dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan prinsip medan magnetik umumnya. Transformator *step up* dibutuhkan untuk menaikkan tegangan mencapai ratusan ribu volt. Sebelumnya, telah dilakukan perancangan transformator *step up* secara manual. Hanya saja, ketika pengujian dilakukan, tegangan input dan output yang dihasilkan belum sesuai dengan nilai perancangan, sehingga perlu dilakukan perbaikan kualitas transformator. Awalnya, transformator hanya mampu diberi input tegangan primer sebesar 170 V dan menaikkan tegangan di sisi sekunder sebesar 7 kV. Perbaikan dilakukan dengan cara memperbaiki isolasi pada transformator, yaitu dengan menambahkan isolasi cair yang juga berfungsi sebagai pendingin. Isolasi cair yang digunakan adalah minyak oli berjenis mesran SAE 40 produksi pertamina dengan tegangan tembus pada suhu kamar mencapai 18.417 kV. Hasilnya, transformator berhasil dinaikkan dengan input maksimal 180 V. Walaupun tidak terlalu *significant,* tapi kualitas transformator berhasil dinaikkan. Peningkatan kualitas transformator yang tidak maksimal dikarenakan isolator kumparan pada bagian sekunder sudah melemah akibat aliran panas yang tinggi, sehingga mudah rusak. Selain itu, untuk mengetahui parameter transformator yang digunakan, dilakukan pengujian hubung singkat, hubung buka, dan polaritas. Hasil dari ketiga pengujian tersebut, menghasilkan karakterisasi transformator.

Kata Kunci : Tegangan Tinggi, Peningkatan Kualitas Transformator *Step Up*, Minyak Oli jenis Mesran SAE 40, Karakterisasi Transformator

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**

PERNYATAAN ..... **iii**

MOTTO ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **v**

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN ..... **vii**

ABSTRAK ..... **viii**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.2 Latar Belakang Masalah 1

1.3 Rumusan Masalah 2

1.4 Batasan Masalah 2

1.5 Tujuan Penelitian 3

1.6 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**

2.1 Penelitian Sejenis 4

2.2 Tinjauan Teori 4

2.2.1 Transformator 5

2.2.2 Isolator 7

2.2.3 Pengujian Karakterisasi Transformator 8

BAB III METODOLOGI **12**

3.1 Alat dan Bahan 12

3.2 Perancangan Sistem 12

3.2.1 Isolator dan Tangki 14

3.3 Cara Analisa 14
3.3.1 Pengujian Karakteriasi Transformator 14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 15
4.1 Tahap-tahap Pengujian Transformator. 15
4.2 Pengujian untuk Mengetahui Karakterisasi Transformator 20
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 24
5.1 Kesimpulan 24
5.2 Saran 24
DAFTAR PUSTAKA 25
LAMPIRAN 27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dua tipe inti transformator 6

Gambar 2. 2 Rangkaian ekivalen transformator 9

Gambar 2. 3 Segitiga impedansi 9

Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian 13

Gambar 4. 1 Proses pemasangan transformator ke dalam tangki 15

Gambar 4. 2 Transformator yang sudah selesai dipasang 16

Gambar 4. 3 Jenis oli yang digunakan 16

Gambar 4. 4 Proses pengisian oli ke dalam tangki 17

Gambar 4. 5 Grafik perbandingan tegangan transformator sebelum dan sesudah penambahan isolator cair berupa minyak oli jenis mesran SAE 40 19

Gambar 4. 6 Rangkaian pengujian hubung buka 20

Gambar 4. 7 Rangkaian pengujian hubung singkat 21

Gambar 4. 8 Rangkaian pengujian polaritas transformator 22

Gambar 4. 9 Arah lilitan polaritas *additive* 23

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Awal Transformator Sebelum Ditambahkan Isolator Cair 18

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Transformator Sesudah Ditambahkan Isolasi Cair. 18

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Polaritas 23

BAB I
PENDAHULUAN

1.2 Latar Belakang Masalah

Pada umumnya, pembangkit listrik dibangun dengan jarak yang cukup jauh dari pemukiman warga. Dalam hal ini, terjadi transmisi daya listrik jarak jauh yang merupakan sebuah proses pengiriman daya listrik kepada pelanggan listrik yang jaraknya cukup jauh dengan pembangkit listrik. Untuk itu, tegangan yang dihasilkan oleh generator yang terdapat di pusat pembangkit perlu dinaikkan mencapai ratusan ribu volt. Inilah yang disebut dengan kebutuhan terhadap tegangan tinggi. Maka dari itu, dibutuhkan alat yang dapat menaikkan tegangan yang disebut dengan transformator *step up*.

Transformator merupakan perangkat yang dapat memindahkan energi dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya dengan prinsip medan magnetik umumnya. Transformator juga disebut sebagai perangkat listrik statis, yang tidak melibatkan bagian yang terus bergerak, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mentransfer tenaga antar sirkuit melalui penggunaan induksi elektromagnetik [1]. Dalam penggunaannya, transformator juga digunakan dalam rangkaian elektronika. Hanya saja fungsinya berbeda. Transformator dalam rangkaian elektronika memiliki ukuran kecil dengan arus input dan outputnya juga kecil. Salah satu alasan penggunaan transformator adalah kebutuhan terhadap tegangan tinggi dalam proses transmisi daya. Sebab dalam implementasinya, tegangan yang semakin tinggi dapat memperkecil rugi-rugi daya dalam proses penyaluran ke beban.

Selain itu, tegangan tinggi AC *(Alternating Current)* diperlukan dalam hal pengujian ketahanan peralatan-peralatan sistem tenaga listrik. Tegangan tinggi AC umumnya diperoleh dari suatu transformator s*tep-up* yang juga disebut transformator uji, yaitu transformator satu fasa dengan faktor tranformasinya jauh lebih besar dibandingkan dengan faktor transformasi transformator daya. Pada umumnya, beban pada transformator uji merupakan bahan isolasi yang terdapat pada peralatan serta perlengkapan instalasi listrik. Bahan isolasi tersebut terdapat pada konduktor-konduktor peralatan yang memiliki potensial yang berbeda. Sistem isolasi ini menjadi bagian utama dalam transformator uji. Fungsinya antara lain adalah mengisolasi belitan tegangan dengan inti, mengisolasi belitan tegangan tinggi dengan belitan tegangan rendah, mengisolasi belitan tegangan tinggi dengan tangki transformator uji dan mengisolasi belitan tegangan rendah dengan inti. Sistem isolasi ini sengaja dirancang dengan tujuan agar mampu menahan tegangan maksimum kontinu yang dibangkitkan pada belitan sekunder transformator uji dan mampu menahan maksimal tegangan lebih transien yang timbul, apabila terminal belitan sekunder transformator terhubung singkat [2]. Terdapat beberapa isolasi yang dapat digunakan dalam

transformator dan dibedakan berdasarkan jenis bahannya, seperti misalnya isolator padat yaitu keramik. Isolator cair, yaitu minyak transformator, dan isolator gas yaitu SF6.

Maka dengan demikian, dilakukanlah sebuah perbaikan untuk meningkatkan kualitas terhadap transformator yang sudah dirancang secara manual. Peningkatan kualitas yang di maksud adalah tegangan sekunder, yang dilakukan dengan menambah kekuatan isolasinya dengan oli sebagai isolator cair. Beberapa alasan yang menjadi sebab pemakaian isolator cair adalah cairan dapat masuk ke sela-sela lilitan dengan lilitan, lilitan dengan *body*, dan antara lapis kumparan. Selain itu, untuk isolator padat akan sulit dilaksanakan karna harus membongkar lilitan. Sedangkan, gas akan sulit secara teknis.

Penelitian ini bersifat pengembangan dengan menggunakan transformator yang sudah selesai dirancang dan dibuat. Pengembangan ini dilakukan, karena ketika pengujian pertama kali kemampuan kapasitas transformator belum sesuai dengan spesifikasi yang sudah dirancang sebelumnya. Artinya, tegangan sisi primer tidak dapat diberi tegangan penuh karena sisi sekunder sudah mengalami hubung singkat, sehingga perlu dilakukan tindak lanjut berupa perbaikan kualitas, khususnya terhadap isolasinya. Selain itu, untuk kebutuhan penggunaan transformator pengujian ini, diperlukan nilai-nilai yang terdapat pada spesifikasi transformator yang disebut karakterisasi. Oleh karena itu, penulis mengambil skripsi dengan judul **"Peningkatan Kualitas dan Karakterisasi Transformator *Step Up* Satu Fasa 250 VA, 10 kV, 50 Hz".**

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang adalah,

1. Bagaimana caranya agar kualitas transformator *step-up* 250 VA, 10 kV dapat meningkat dengan cara menaikkan tegangan input yang sebelumnya hanya 170 V.
2. Mendapatkan nilai karakterisasi dari transformator *step-up* satu fasa 250 VA, 10 kV

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Transformator yang digunakan adalah transformator 1 fase yang berjenis tipe inti dengan spesifikasi rancangan sisi primer 220 V dan sisi sekunder 10 kV.
2. Penelitian ini hanya ditekankan pada perbaikan isolator menggunakan isolator cair, sehingga tegangan input bisa lebih besar dari sebelumnya.
3. Mencari nilai karakterisasi transformator berdasarkan pengujian hubung buka, hubung singkat, dan polaritas.

4. Isolator cair yang digunakan adalah minyak berjenis oli mesran SAE 40 produksi pertamina [3].

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah,

1. Untuk meningkatkan kualitas transformator
2. Mengetahui karakteristik pada transformator *step up* yang sudah dirancang secara manual dari parameter yang didapatkan berdasarkan pengujian.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah,

1. Untuk menguji tingkat ketahanan bahan isolasi pada isolator yang digunakan
2. Digunakan untuk kebutuhan tegangan tinggi seperti bahan pembelajaran, penelitian, dan bahan uji dalam tegangan tinggi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sejenis

Pada tahun 2017, Minan Nuri Rahman dalam penelitiannya "Rancang Bangun Transformator *Step-up* 220 V/ 10 kV, 25 mA, 50 Hz" telah merancang transformator secara manual. Salah satu tujuannya adalah untuk menguji ketahanan bahan isolasi pada sebuah isolator dan keperluan pembelajaran. Namun, ketika dilakukan pengujian, tegangan sekunder belum sesuai dengan perhitungan awal. Awalnya, tegangan pada sekunder yang dirancang mencapai 10 kV, tetapi saat pengujian hanya mencapai 7 kV. Analisa singkat yang ada, hal ini dipengaruhi oleh isolator yang tidak cukup kuat menahan tegangan tinggi yang dihasilkan dan karena adanya celah udara, sehingga menyebabkan hubung singkat [4]. Oleh karena itu, di sini akan dilakukan pengembangan untuk memperbaiki isolator yang digunakan pada transformator.

Pembuatan transformator yang terisolasi dengan tegangan tinggi mencapai 300 kV juga sudah pernah dilakukan. Tegangan ini berfungsi sebagai catu daya sumber elektron untuk MBE (Mesin Berkas Elektron) Lateks. MBE atau mesin pemercepat elektron merupakan suatu jenis teknologi baru yang sudah dikembangkan pada dua dekade lalu sebagai sumber iradiasi pengion (elektron berenergi). Komponen utama MBE adalah sumber elektron, sistem pemercepat, sistem pemfokus, sistem pemayar, sistem vakum, dan SIK [5]. Hanya saja, penelitian ini bertujuan sebagai sumber daya untuk mencatu sumber ion jenis *multicusp* pada akselerator generator netron. Transformator ini dirancang dari bahan utama resin jenis *scotchast*-2130 sebagai medium isolator, kumparan primer dan sekunder dari bahan kawat email ukuran diameter 1 mm, serta plat transformator ukuran 5,7 cm sebagai inti [6]. Namun, pada penelitian ini jenis bahan isolator yang digunakan adalah jenis bahan *flexiglass* dan cairan seperti minyak transformator.

Sistem isolasi disebut juga sebagai gabungan dari beberapa bahan isolasi yang dibangun untuk memisahkan bagian bagian peralatan listrik yang berbeda potensial [2]. Fokus penelitian ini adalah ketahanan bahan isolasi dan mengetahui karakterisasi dari transformator. Hal ini menjadi penting, ketika berbicara tentang jenis bahan isolasi dan karakterisasi.

2.2 Tinjauan Teori

Berbicara tentang transformator, tentu erat kaitannya dengan tegangan tinggi. Alasanya, karena transformator merupakan salah satu perangkat yang digunakan dalam teknik tegangan tinggi. Lingkup studi teknik tegangan tinggi mencakup semua masalah yang telah dikemukakan, di antaranya adalah teknik isolasi, tegangan lebih pada sistem tenaga lsitrik, dan karakterisasinya.

2.2.1 Transformator

Tranformator adalah suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya, transformator terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan bergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua buah kumparan itu.

Pada transformator ideal berlaku perbandingan sebagaimana pada persamaan (2.1).

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \tag{2.1}$$

N_p = Banyaknya Kumparan pada sisi Primer

N_s = Banyaknya Kumparan pada sisi Sekunder

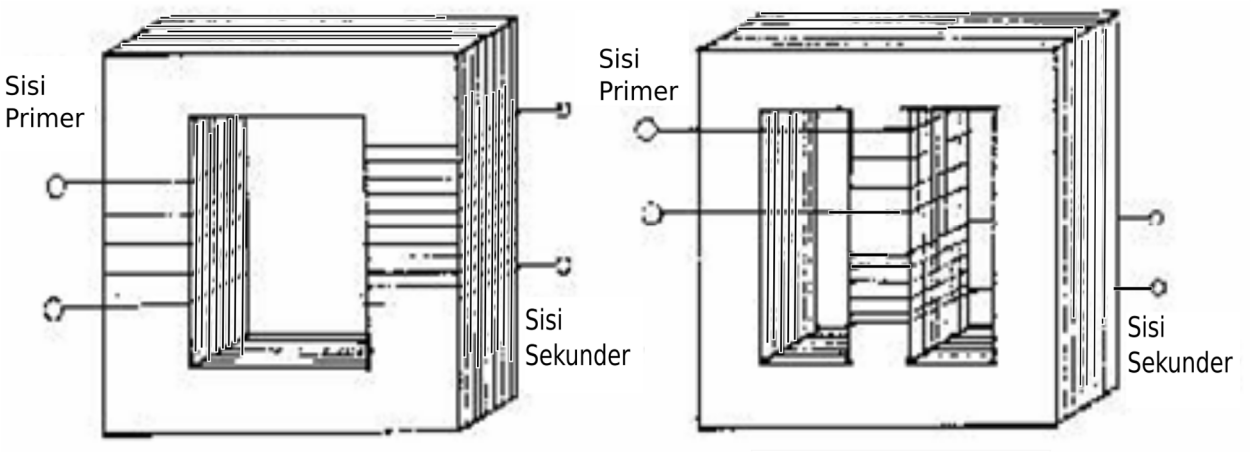
V_p = Tegangan pada sisi Primer

V_s = Tegangan pada sisi Sekunder

I_p = Arus pada sisi Primer

I_s = Arus pada sisi Sekunder

Secara umum, transformator dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti, terdapat dua buah kaki, dan masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Penggunaan jenis ini dapat ditemukan pada transformator dengan kapasitas daya yang tinggi. Keuntungan pada jenis ini adalah kawat dengan isolasi rendah dapat digunakan dan ekonomis dalam pemakaian inti, sedangkan kerugian dari jenis ini adalah kebocoran fluks cukup besar jika dibandingkan dengan tipe cangkang. Pada tipe cangkang, mempunyai tiga buah kaki dengan kedua belitan (primer dan sekunder) hanya terdapat pada kaki yang di tengah-tengah. Biasanya, jenis ini digunakan pada transformator tenaga yang berkapasitas daya rendah. Keuntungan dari penggunaan jenis ini adalah mudah dalam pembuatan dan fluks bocor dapat diperkecil, sedangkan kerugiannya yaitu pemakaian inti yang kurang ekonomis disebabkan membutuhkan inti yang besar.



a. Tipe Inti b. Tipe Cangkang

Gambar 2. 1 Dua tipe inti transformator [7]

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa kedua kumparan saling tergabung secara magnetik melalui inti. Kumparan-kumparan itu tidak tergabung secara elektrik. Bagian datar dari inti tersebut dinamakan pemikul. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik [8].

Apabila sisi kumparan primer dihubungkan dengan tegangan sumber, maka akan mengalir arus bolak balik I_1 pada kumparan primer tersebut. Oleh karena itu, kumparan yang dialiri arus I_1 tersebut akan menimbulkan fluks magnetik yang juga berubah ubah pada intinya. Akibat dari fluks yang timbul dan berubah ubah, maka akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) induksi (e_p) pada sisi primer.

Dalam teori dasar kelistrikan, kita mengenal kondisi sirkuit yang terbagi 3 macam.

1. *Closed Circuit* (sirkuit terhubung)
   Sirkuit ini tersambung dari sumber dan kembali ke sumbernya lagi. Selain itu, pada sirkuit ini terdapat tahanan (*load*) yang mengontrol jumlah arus yang mengalir.
2. *Open Circuit* (sirkuit terbuka)
   Sirkuit ini tidak terhubung atau ada bagian yang terbuka, baik oleh *switch* atau oleh putusnya kabel.
3. *Short Circuit* (hubung singkat)
   Sirkuit ini terjadi jika arus mengambil jalan pintas untuk kembali ke sumbernya karena ada hubungan langsung antar konduktornya yang tidak melalui beban, sehingga nilai arusnya menjadi besar sekali. Hal ini dikarenakan rendahnya nilai tahanan yang menghambat arus tersebut, sehingga dapat menyebabkan konduktornya terbakar [9].

Hanya saja dalam pengujian transformator ini, hanya dua kondisi yang digunakan sebagai pengujian untuk mengetahui karakterisasinya. Dari dua pengujian ini (*Open Circuit Test dan Short Circuit Test*) akan didapatkan rugi rugi inti dan tembaga.

2.2.2 Isolator

Isolator merupakan bahan yang tidak bisa atau sulit menghantarkan muatan listrik. Selain itu, isolator berfungsi sebagai pendukung konduktor dan sekaligus memisahkan konduktor bertegangan dengan bagian yang bertegangan nol. Disebut sebagai isolator, karena hanya sedikit elektron bebas yang tersedia dalam pita hantaran, dan bahan ini merupakan penghantar (baik elektrik maupun panas) yang buruk. Dalam pembahasan isolator, dikenal metode panas isolasi/ insulasi termal. Panas isolasi merupakan suatu proses atau metode yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas/kalor atau mencegah rugi-rugi berupa panas yang dihasilkan dari perbedaan suhu. Metode ini akan akan memepertimbangkan karakteristik dan ketebalan material yang digunakan. Selain itu, ketebalan bahan isolasi yang digunakan juga memiliki pengaruh tersendiri dalam isolasi [10]. Kegagalan isolasi yang terjadi pada peralatan yang sedang beroperasi, dapat menyebabkan kerusakan alat yang berdampak pada kontinuitas sistem yang terganggu.

Beberapa istilah yang dikenal dalam pengujian, antara lain adalah *partial discharge* dan *flashover*. *Partial discharge* (peluahan parsial) merupakan peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi. *Partial discharge* yang merupakan peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik pada suatu bagian dari bahan isolasi padat. Peristiwa ini kemungkinan terjadinya meliputi rongga terhubung langsung pada elektroda, rongga dalam isolasi, rongga yang dipisahkan oleh elektroda, permukaan elektroda, titik elektroda yang berbentuk kanal, atau rongga isolasi yang berbentuk kanal [11].

Sedangkan, *flashover* merupakan tembus listrik yang terjadi pada udara di sekitar permukaan isolator dan menimbulkan adanya busur api di sekitar permukaan isolator, sehingga menjembatani kedua elektroda [12]. Dari beberapa kasus yang terjadi, menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini terjadi berkaitan dengan adanya *partial discharge*. *Partial discharge inception* (munculnya peluahan parsial) akan dipengaruhi oleh jenis bahan yang terkandung dalam isolasi [13]. Walaupun demikian, kedua kondisi ini *(Partial discharge* dan *flashover)* terjadi pada bahan isolasi padat, cair, maupun gas. Dalam pemakaiannya juga, isolasi yang banyak digunakan adalah isolator padat, isolator cair, dan isolator gas.

a. Isolator Padat

Isolator jenis ini banyak digunakan pada kabel tegangan tinggi. Isolator jenis ini juga memiliki ketahanan yang lebih besar dari pada isolator jenis gas. Hanya saja, jika terjadi kegagalan, maka akan sulit untuk kembali pada keadaan awal. Di antara contohnya adalah keramik, karet, PVC, dan kertas.

b. Isolator Cair

Fungsi dari isolasi cair adalah untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar di antara bagian-bagian tersebut tidak terjadi lompatan bunga api atau percikan. Selain itu, isolator cair ini dapat berfungsi sebagai media pendingin yang biasa digunakan pada pemutus tenaga, transformator, dan sebagainya. Di antara contohnya adalah minyak transformator.

c. Isolator Gas

Rangkaian tegangan tinggi, memiliki waktu saat pembukaan dan penutupan (*switching*). Hal ini akan menimbulkan busur api (*arcing*) yang disebabkan oleh tegangan sementara *(transient)*. Busur api ini haruslah segera dipadamkan, jika tegangan *transient* ini dibiarkan terlalu lama, maka akan menyebabkan rusaknya peralatan yang terpasang. Untuk tegangan rendah, busur api yang terjadi tidak terlalu besar, sehingga media udara sudah cukup untuk memadamkannya. Salah satu contoh dari isolator gas ini adalah SF6 (S*ulfur Hexafluoride*).

Pada penelitian ini, isolator yang digunakan adalah isolasi cair. Beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan adalah, isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih besar dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi. Selain itu, isolasi cair dapat mengisi celah atau ruang yang akan di isolasi dan secara serentak melalui proses konversi akan menghilangkan panas yang timbul akibat rugi rugi energi. Alasan lainnya adalah isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri *(self healing),* jika terjadi pelepasan muatan *(discharge)*. Namun, walaupun demikian, kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi.

2.2.3 Pengujian Karakterisasi Transformator

2.2.3.1 Tes Hubung Buka (*Open Circuit Test*)

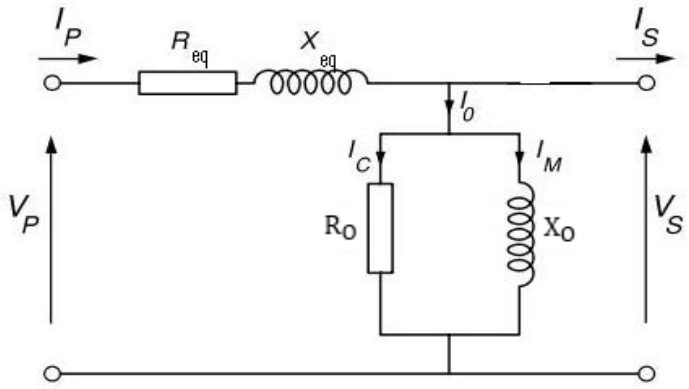
Pengujian hubung buka ini dilakukan dengan cara membiarkan sisi sekunder mengambang tanpa dihubungkan dengan beban apapun. Pengujian hubungan buka ini dilakukan untuk mencari rugi-rugi inti besi pada transformator. Rugi rugi inti besi ini terdiri dari rugi-rugi hysterisis dan rugi-rugi arus edy. Selain rugi-rugi inti yang didapatkan dari pengujian ini, juga akan didapatkan nilai reaktansi ekivalen inti (X_o) dan nilai ekivalen resistansi inti (R_o). Persamaan (2.2) yang digunakan dalam rangkaian ekivalen transformator.

$$P_o = V.\ I \cos\theta \tag{2.2}$$

Turunan rumus,

$$P_o = \frac{V^2}{R} . \cos\theta \tag{2.3}$$

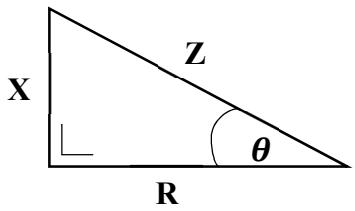
Pada pengujian transformator hubung buka, impedansi merupakan paralel dari rangkaian ekivalen. Rangkaian ekivalen dari transformator dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Rangkaian ekivalen transformator [14]

$$Z_o = \frac{R_0 \cdot j X_0}{R_0 + j X_0} \tag{2.4}$$

Selain itu, dibutuhkan persamaan untuk mengetahui nilai karakterisasi menggunakan segitiga impedansi seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Segitiga impedansi

$$X_o = \frac{V}{I} \text{ Sin } \theta \tag{2.5}$$

$$R_o = \frac{V}{I} \text{ Cos } \theta \tag{2.6}$$

P_o = Rugi rugi Inti (Watt)

Z_o = Impedansi Ekivalen inti (Ω)

R_o = Resistansi Ekivalen inti (Ω)

X_o = Reaktansi Ekivalen inti (Ω)

2.2.3.2 Tes Hubung Singkat *(Short Circuit Test)*

Pengujian hubung singkat ini dilakukan dengan cara menghubungkan antara kumparan di sisi sekunder dan netral. Kemudian pada sisi primer dihubungkan dengan sumber tenaga yang bersifat dapat diatur, seperti variac. Input tegangan pada sisi primer dinaikkan secara perlahan-lahan, sehingga mencapai arus beban maksimal. Tegangan input di primer harus menyesuaikan arus beban maksimal yang terukur pada bagian primer. Dari pengujian hubung singkat ini, akan didapatkan rugi-rugi tembaga pada transformator.

$$P_{sc} = V_{sc} \, . \, I_{sc} \cos\theta \tag{2.7}$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \angle \theta_{sc} \tag{2.8}$$

Rangkaian ekivalen yang digunakan sama seperti pada Gambar 2.2, sehingga pada pengujian hubung singkat ini, nilai impedansi merupakan hasil penjumlahan nilai resistansi (R_{eq}) dan reaktansi (X_{eq}) yang terdapat pada rangkaian ekivalen. Sehingga, berlaku persamaan (2.9) dan persamaan (2.10).

$$Z_{eq} = R_{eq} + J\, X_{eq} \tag{2.9}$$

$$Z_{eq} = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{2.10}$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^{\,2}} \tag{2.11}$$

P_{sc} = Rugi rugi tembaga (Watt)

R_{eq} = Resistansi ekivalen pada tembaga (Ω)

X_{eq} = Reaktansi ekivalen pada tembaga (Ω)

2.2.3.3 Polaritas Transformator

Polaritas dibutuhkan, jika ingin memparalel dua buah transformator atau lebih, dengan tujuan untuk meningkatkan daya transformator. Sedangkan, menserikan dua buah transformator atau lebih, dibutuhkan untuk meningkatkan tegangan transformator. Polaritas perlu diketahui untuk membuat sambungan-sambungan pada transformator. Polaritas dari suatu transformator ditentukan oleh arah lilitannya. Fungsi dari polaritas transformator sendiri adalah sebagai penentuan kutub-kutub positif atau negatif pada transformator, untuk menentukan kumparan-kumparan primer atau sekunder, dan untuk menghubungkan transformator biasa menjadi autotransformator.

Polaritas ini dapat dilakukan dengan cara menghubungkan antara ujung kumparan sekunder dengan ujung kumparan primer yang terdekat. Ujung ujung lainnya dipasang voltmeter (V') dan ujung kumparan primer lainnya dihubung ke sumber dan dipasang voltmeter (V).

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, akan menghasilkan dua buah kemungkinan. Jika V'>V, maka polaritas transformator bersifat *additive* (saling menambahkan), sedangkan V'<V, maka polaritas transformator bersifat *subtractive* (saling mengurangkan).

Dari hasil ketiga pengujian tersebut, akan didapat nilai karakterisasi transformator. Hanya saja, kategori baik atau buruknya transformator tidak dapat ditentukan berdasarkan nilai karakterisasi ini. Kategori kualitas transformator bersifat relatif dan tergantung dengan nilai efisiensi dari transformator. Dalam penelitian ini, tidak dilakukan pengukuran untuk mengetahui efisiensi, sehingga belum bisa disimpulkan transformator termasuk kedalam kategori baik, buruk, atau sedang.

BAB III
METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Beberapa bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua konsentrasi, yaitu pada peningkatan kualitas transformator dan karakterisasi melalui pengujian.

- Peningkatan kualitas transformator,
  1. Isolator cair berupa minyak jenis oli mesran SAE 40 produksi pertamina yang biasanya digunakan sebagai pelumas pada mesin berbahan bakar premium.
  2. Tangki transformator berupa akrilik yang didesain sedemikian rupa, sebagai wadah transformator dan penampungan minyak. Akrilik yang digunakan memiliki ketebalan 5 mm [15] .
- Pengukuran karakterisasi transformator,
  1. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus pada transformator
  2. Wattmeter untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh transformator
  3. Cos phi meter untuk mengukur faktor daya

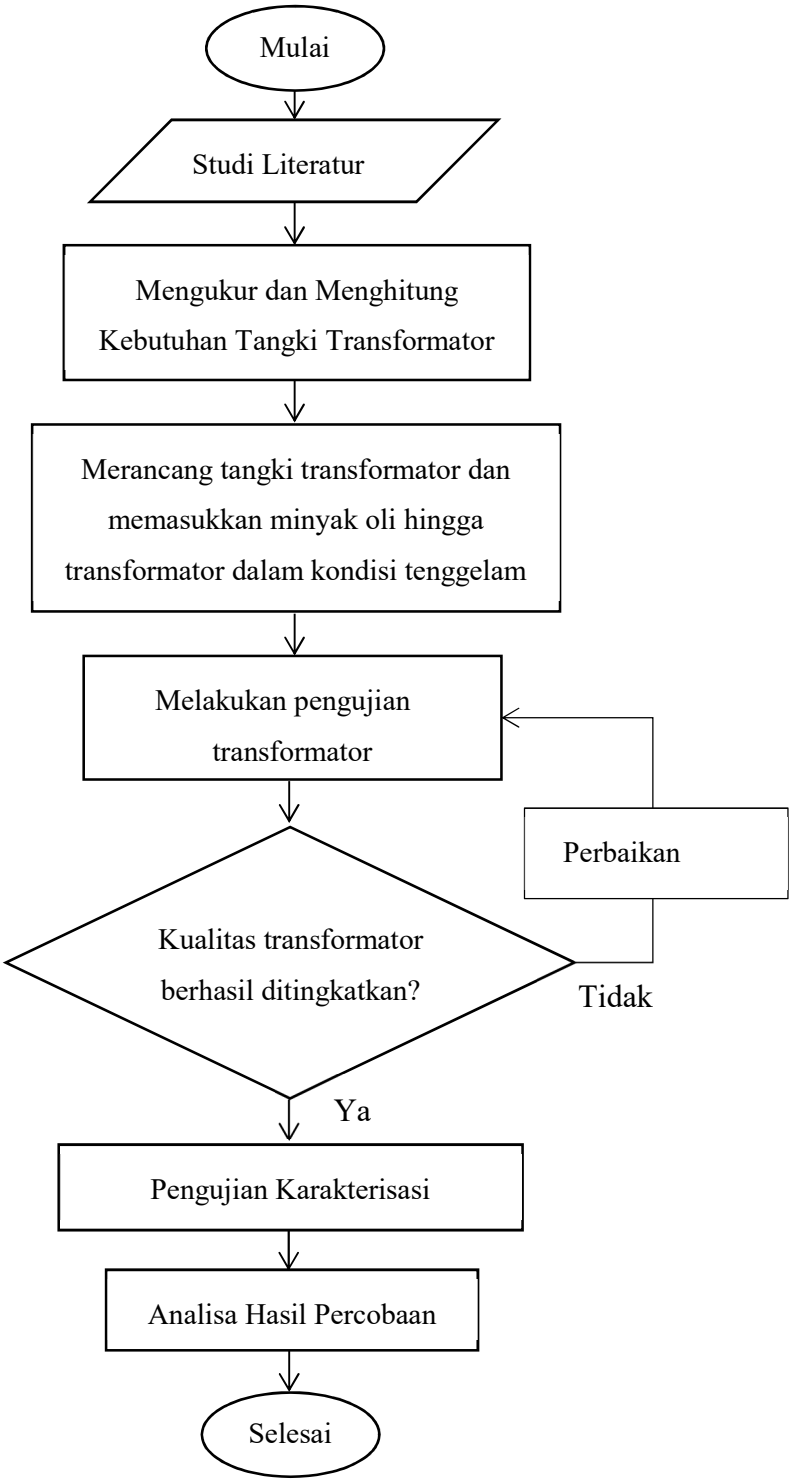
3.2 Perancangan Sistem

Hal yang menjadi konsen pada perancangan disini adalah perbaikan isolasi dengan tujuan peningkatan kualitas transformator. Oleh karena itu, harus ditambah tangki sebagai wadah dan minyak oli sebagai isolator cair dan juga pendingin.

Untuk membuat tangki yang digunakan sebagai tempat penampung transformator dan isolator cair, maka harus diketahui terlebih dahulu berapa batas tegangan loncat yang dihasilkan. Loncatan tegangan *(flashover)* merupakan gangguan yang terjadi berupa loncatan api yang terjadi antara komponen listrik tegangan tinggi dan isolator. Hal ini terjadi dikarenakan gagalnya isolasi dari sistem tegangan tinggi tersebut.

Setelah tangki berbentuk kubus dengan ukuran yang sudah diperhitungkan dibuat, maka transformator dan minyak oli dimasukkan kedalam tangki tersebut dalam kondisi transformator tenggelam. Sisakan ruang antar transformator dan penutup tangki atas sebagai ruang udara untuk bersikulasi melalui lubang yang terdapat pada tangki bagian atas, ketika pengujian berlangsung. Jangan lupa untuk memastikan, tidak ada bahan lain yang ikut terlarut dalam minyak atau tangki tersebut (tidak terkontaminasi). Sebab, hal ini akan berdampak pada kualitas dan kemampuan isolasi minyak sebagai isolator dan juga pendingin.

Setelah pengujian tegangan tinggi dilakukan, selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk mengetahui karakterisasi dari transformator tersebut. Adapun *flowchart* penelitan ini, dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

3.2.1 Isolator dan Tangki

1. Tangki Transformator

Tangki transformator dibuat dari bahan padat berjenis akrilik dengan ketebalan 5 mm. Alasan dipilih ukuran ketebalan akrilik 5 mm adalah untuk mengantisipasi panas yang dihasilkan saat pengujian dan menahan total berat serta tekanan yang dihasilkan oleh isolator cair dan transformator. Sedangkan, ukuran yang dibuat akan menyesuaikan tegangan loncat seperti yang sudah diuraikan diatas.

2. Isolator Cair

Isolator cair yang dipilih adalah minyak oli berjenis SAE 40 yang biasanya digunakan pada pelumas mesin yang berbahan bakar premium. Hal ini dikarenakan, minyak oli jenis ini memiliki tegangan tembus mencapai 18.417 kV [3]. Selain itu, minyak oli yang digunakan pada mesin berbahan bakar diesel lebih kental dari minyak oli yang digunakan pada mesin berbahan bakar premium. Minyak ini merupakan pengganti dari minyak transformator.

3.3 Cara Analisa

Pengujian ini harus dilakukan khusus di laboratorium karena alasan keamanan. Disini, akan dilihat apakah kemampuan transformator meningkat dalam pengujian tegangan tinggi, setelah isolasinya diperbaiki atau tidak. Sedangkan, pada pengujian karakteristik akan diketahui data atau spesifikasi transformator lebih detail yang bisa digunakan untuk penelitian selanjutnya.

3.3.1 Pengujian Karakteriasi Transformator

Karakterisasi transformator ini akan diketahui melalui pengujian berikut.

1. Tes Hubung Buka *(Open Circuit Test)*
2. Tes Hubung Singkat *(Short Circuit Test)*
3. Polaritas

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

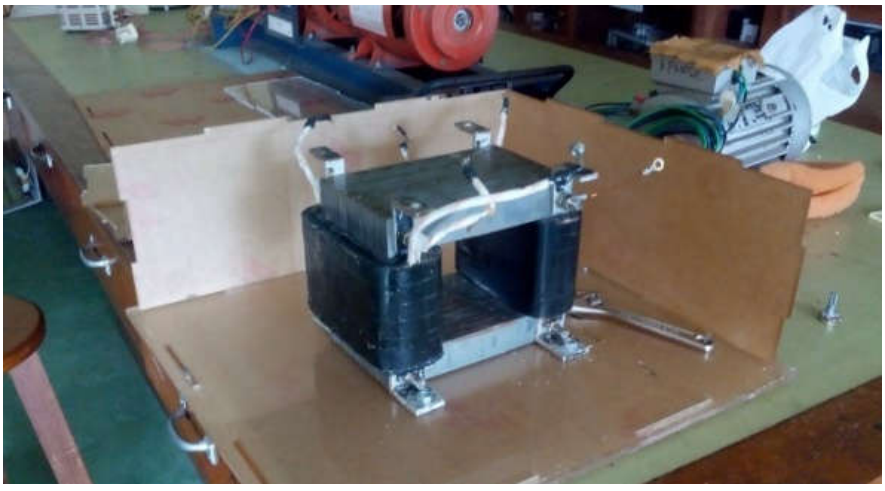
Peningkatan kualitas pada transformator ini dilakukan dengan cara pengujian. Tegangan input transformator di sisi primer yang melebihi tegangan input sebelumnya adalah parameter keberhasilan dari penelitian ini. Dari hasil pengujian tersebut juga akan diketahui karakterisasi transformator.

Desain transformator yang digunakan adalah 220 VA, 10 kV, tapi pada saat pengujian awal, transformator hanya bertahan ketika 170 V dan sudah mengalami *discharge* / hubung singkat di bagian sekunder saat 7 kV. Sehingga perlu dilakukan upaya peningkatan atau perbaikan kualitas transformator dengan cara memperbaiki isolasinya. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menambahkan minyak oli yang berfungsi sebagai isolator cair dan pendingin transformator.

4.1 Tahap-tahap Pengujian Transformator.

1. Pembuatan Tangki Transformator yang Digunakan sebagai Wadah Penampungan Minyak.

   Tangki ini dirancang dengan menghitung loncatan tegangan yang akan dihasilkan dari kegagalan isolasi ketika pengujian sedang berlangsung sebagai alasan keamanan. Transformator dan isolator cair nantinya akan disatukan didalam tangki ini. Selain itu, ditambahkan satu buah lubang di atas tangki yang berfungsi sebagai tempat sirkulasi udara ketika pengujian transformator dilakukan. Adapun proses pembuatan dan pemasangan tangki transformator dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Proses pemasangan transformator ke dalam tangki



Gambar 4. 2 Transformator yang sudah selesai dipasang

2. Pengisian Oli yang berfungsi sebagai Isolator Cair dan Pendingin Transformator

Bahan cair merupakan bahan yang mudah dijumpai dan banyak jenisnya. Hanya saja, yang dapat digunakan sebagai isolator jumlahnya sangat sedikit dan umumnya persenyawan dari beberapa unsur dan tidak lagi dalam keadaan murni.

Jenis bahan cair yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak pelumas berjenis mesran yang diproduksi oleh pertamina. Oli ini berfungsi sebagai pengganti minyak transformator. Oli yang digunakan adalah oli yang biasa digunakan untuk mesin premium berjenis SAE 40. Selain itu, minyak oli ini memiliki tingkat kekentalan 40 berdasarkan standard SAE *(Society of Automotive Engineers)* dan dapat digunakan sebagai isolasi. Standard SAE yang semakin tinggi akan berpengaruh terhadap oli yang juga akan semakin kental. Adapun Gambar 4.3 menunjukkan jenis oli yang digunakan dalam penelitian ini. Proses pengisian minyak oli (isolator cair) dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Jenis oli yang digunakan



Gambar 4. 4 Proses pengisian oli ke dalam tangki

Penelitian ini dilakukan dalam ruangan tertutup, sehingga suhu dalam ruangan juga akan mempengaruhi tegangan tembus pada isolasi cair yang digunakan. Pada suhu kamar minyak oli jenis mesran SAE 40 produksi pertamina ini memiliki tegangan tembus sebesar 18.417 kV [3].

3. Pengujian untuk Mengetahui Keberhasilan Peningkatan Kualitas Transformator

Pengujian ini dilakukan dengan memasukan tegangan input di sisi primer menggunakan variac. Variac diputar secara perlahan untuk melihat kondisi transformator. Saat pengujian, lubang diatas tangki harus dibuka. Hal ini dikarenakan udara panas bercampur isolasi cair yang dihasilkan saat pengujian harus didinginkan. Sebab jika tidak, akan berpengaruh terhadap kualitas isolasi cair yang menurun.

Pada pengujian sebelumnya yang telah dilakukan, sisi primer pada transformator hanya bisa diberi tegangan masukan sebesar 170 V dan keluaran di sisi sekunder sebesar 7 kV, setelah itu transformator mengalami *partial discharge*. Pada Tabel 4.1 terdapat nilai *tab changer* yang berfungsi mengubah perbandingan lilitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai dengan kebutuhan oleh tegangan jaringan (beban) atau karena tegangan sisi primer yang tidak menentu. Hasil pengujian awal transformator dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Awal Transformator Sebelum Ditambahkan Isolator Cair

Tegangan V_p (V)	***Tap Changer***	**Perbandingan Transfomasi N_2/N_1**	**Tegangan V_s Hasil Pengujian (V)**
25	5.000	22,72	500
	10.000	45,45	1.000
50	5.000	22,72	1.000
	10.000	45,45	2.000
75	5.000	22,72	1.500
	10.000	45,45	3.000
100	5.000	22,72	2.000
	10.000	45,45	4.000
125	5.000	22,72	2.500
	10.000	45,45	5.000
150	5.000	22,72	3.000
	10.000	45,45	6.000
170	5.000	22,72	3.500
	10.000	45,45	7.000

Sedangkan hasil pengujian setelah penambahan isolator cair dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Transformator Sesudah Ditambahkan Isolasi Cair.

Tegangan V_p (volt)	***Tap Changer***	**Perbandingan Lilitan Transformator N_2/N_1**	**Rugi-rugi Inti P_i (Watt)**	**Arus Primer I_1 (mA)**	**$\cos\theta$**	**Tegangan sekunder V_s (volt)**
20	5.000	22,72	1	80	1	454,4
	10.000	45,45				909
40	5.000	22,72	4	105	0,99	908,8
	10.000	45,45				1.818
60	5.000	22,72	6	115	0,99	1.363,2
	10.000	45,45				2.727
80	5.000	22,72	9	125	0,99	1.817,6
	10.000	45,45				3.636
100	5.000	22,72	14	135	0,99	2.272
	10.000	45,45				4.545
120	5.000	22,72	18	145	0,99	2.726,4
	10.000	45,45				5.454
140	5.000	22,72	25	180	0,99	3.180,8
	10.000	45,45				6.363
160	5.000	22,72	29	190	0,99	3.635,2
	10.000	45,45				7.272
180	5.000	22,72	35	200	0,98	4.089,6
	10.000	45,45				8.181

Adapun perbandingan transformator sebelum dan sesudah digunakan isolator cair dapat dilihat pada grafik di Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan tegangan transformator sebelum dan sesudah penambahan isolator cair berupa minyak oli jenis mesran SAE 40

Dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa terlihat perbedaan sebelum dan sesudah penambahan isolator cair pada transformator. Artinya, transformator mengalami kualitas yang meningkat. Sebelumnya, dapat dilihat pada input di sisi primer 100 V, menghasilkan tegangan di sisi sekunder sebesar 4.000 V. Hal ini berbeda ketika transformator ditambahkan isolasi cair berupa minyak oli, sehingga tegangan di sisi sekunder naik menjadi 4.545 V. Pada sisi primer dengan input 120 V juga dapat dilihat bahwa tegangan sekunder menghasilkan 5.454 V, setelah penambahan isolator cair. Sedangkan, input primer sebesar 125 V sebelum penambahan isolator cair hanya mampu menghasilkan tegangan di sisi sekunder sebesar 5.000 V. Setelah itu, input maksimal sebelum ditambahkan isolator cair, transformator hanya mampu menerima tegangan primer 170 V dan menghasilkan tegangan sekunder sebesar 7.000 V. Berbeda halnya, ketika transformator ditambahkan isolator cair. Tegangan primer maksimal (beban penuh) transformator naik menjadi 180 V dan tegangan di sisi sekunder mencapai 8.181 V. Hal ini disebabkan, minyak oli yang berfungsi sebagai isolasi akan mengisi celah dan ruang yang terdapat antar kumparan dan inti besi, sehingga panas yang ditimbulkan akibat rugi-rugi akan hilang. Selain itu, minyak oli juga berfungsi sebagai pendingin. Ketika tegangan di input, maka akan menghasilkan medan magnet yang selanjutnya menimbulkan fluks magnetik. Saat fluks magnetik ini bergerak menggunakan inti besi, maka akan terjadi rugi rugi inti dan rugi rugi

tembaga yang nantinya akan dikonversikan menjadi energi panas. Untuk menjaga umur transformator agar bertahan lama, maka panas ini harus didinginkan menggunakan pendingin (dalam penelitian ini menggunakan minyak oli). Sebab, panas yang berlebihan akan berdampak kepada rusaknya lilitan.

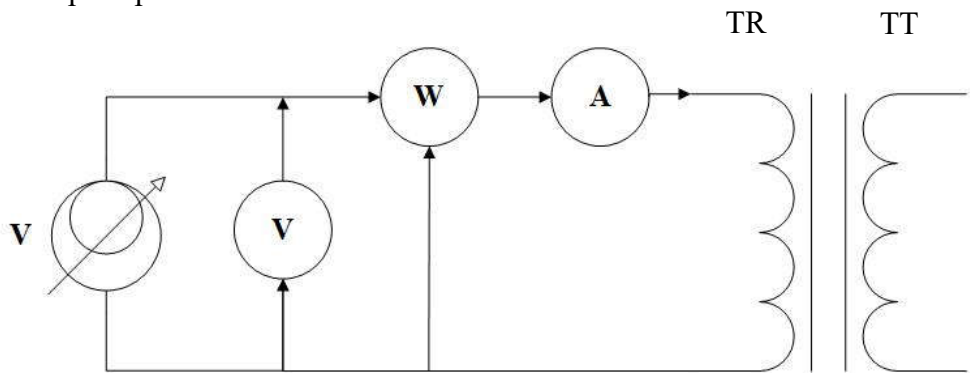
Kenaikan kualitas yang tidak terlalu *significant* ini dikarenakan isolator kumparan transformator sudah mengalami sedikit kerusakan akibat pengujian tegangan tinggi yang dilakukan berulang kali. Sehingga berdampak pada ketahanan kumparan yang melemah dan mudah rusak apabila teraliri panas akibat tegangan tinggi. Analisa ini dapat dibuktikan dengan melihat asap dan percikan api (*flashover*) terjadi saat pengujian yang ke 6 kalinya. Penambahan titik kerusakan pada belitan sekunder lebih dari satu titik menjadi salah satu alasan mengapa transformator tidak dapat beroperasi maksimal sesuai dengan nilai rancang diawal pembuatannya.

Selain itu, isolasi cair yang sudah tidak murni ketika pengujian. Hal ini juga disebabkan karena ruang transformator tidak divakum ketika isolasi cair akan dimasukkan. Isolasi cair ini terkontaminasi oleh tangki transformator yang tidak terlalu bersih, sehingga mengakibatkan isolasi cair ini tidak maksimal dalam fungsinya sebagai isolator.

4.2 Pengujian untuk Mengetahui Karakterisasi Transformator

1. Pengujian Hubung Buka *(Open Circuit Test)* pada Transformator

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rugi rugi inti yang terdapat pada transformator. Pengujian ini dilaksanakan dengan membiarkan bagian sekunder tanpa dihubungkan dengan beban (dibiarkan mengambang). Adapun rangkaian yang untuk pengujian hubung buka adalah seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Rangkaian pengujian hubung buka

Berdasarkan hasil pengujian hubung buka, dapat disimpulkan (berdasarkan Tabel 4.2) bahwa beban penuh pada transformator ini adalah dengan input 180 V dan tegangan disisi sekunder sebesar 8.181 V. Maka, dari sini akan didapat nilai karakaterisasi X_o, Z_o, dan R_o.

- V_p = 180 V, merupakan tegangan penuh yang dapat di input.

  I_o = 200 mA = 0.2 A

  Cos θ = 0.98

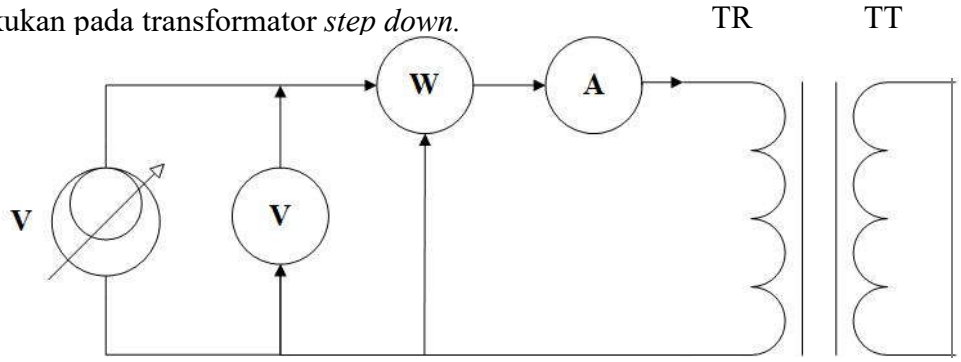
  θ_o = 11.47 ^{o}

  X_o, Z_o, dan R_o?

  - Dengan persamaan (2.5), akan di dapat nilai X_o (reaktansi ekivalen pada inti besi) sebesar 178.96 Ω
  - Sedangkan, dengan persamaan (2.6), akan di dapat nilai R_o (resistansi ekivalen pada inti besi) sebesar 882 Ω
  - Untuk mendapatkan nilai Z_o (impedansi ekivalen inti) transformator ini, digunakan persamaan (2.4). Sehingga hasilnya adalah (34.87 + j 171.88) Ω

2. Pengujian Hubung Singkat *(Short Circuit Test)* Pada Transformator

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi tembaga pada transformator. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan antara output bagian sekunder dan netral atau biasa kita kenal dengan istilah hubung singkat. Pengujian ini dapat dilaksanakan, baik pada transformator *step up* maupun *step down*. Hanya saja, pengujian ini dilakukan pada transformator *step up* dengan tetap mempertimbangkan arus maksimal. Walaupun, untuk alasan keamanan transformator dan kualitas lilitan, pengujian hubung singkat ini dilakukan pada transformator *step down.*



Gambar 4. 7 Rangkaian pengujian hubung singkat

Saat pengujian dilakukan, tidak boleh terlalu lama. Sebab, saat pengujian hubung singkat nilai impedansi (Z) sama dengan 0. Jika terlalu lama dibiarkan dalam keadaan hubung singkat, maka arus yang mengalir akan besar, sehingga akan berdampak pada kumparan transformator yang rusak.

Berikut adalah hasil pengujian hubung singkat pada transformator *step up* yang dilakukan di sisi tegangan rendah.

V_{sc} = 3 V

I_{sc} = 25 mA

Cos θ = 0.99 , θ = 8.1°

$P_{cu} = P_{sc}$

Dari data yang didapat, maka nilai rugi rugi tembaga (P_{cu}), reaktansi ekivalen (X_{eq}) dan resistansi ekivalen (R_{eq}) dapat ditentukan.

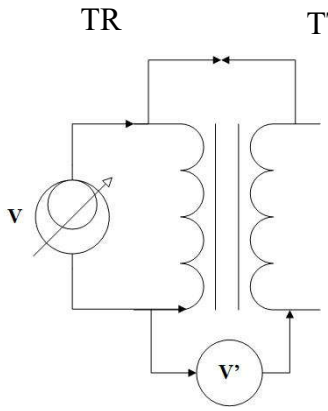
- Dari persamaan (2.7), maka nilai rugi rugi tembaga (P_{sc}) yang dihasilkan adalah 74.25 mW
- Nilai Impedansi (Z_o) pada tembaga dapat dihasilkan dengan menggunakan persamaan (2.8), 120 Ω ∠ 8.1°
- Untuk mendapatkan nilai R_{eq}, digunakan persamaan (2.11) sehingga hasilnya adalah 118.8 Ω
- Sedangkan, untuk mendapatkan nilai X_{eq}, digunakan persamaan (2.10). sehingga hasilnya adalah 16.92 Ω.

3. Polaritas Transformator

Polaritas ini perlu diketahui, apabila diinginkan peningkatan daya transformator dengan cara memparalelkan dan menserikan transformator apabila diinginkan peningkatan tegangan transformator.

Ada 2 jenis polaritas transformator yang dikenal, yaitu *additive* dan *subtractive. Additive* merupakan kondisi transformator dimana lilitannya memiliki arah yang sama, sedangkan *subtractive* merupakan kondisi transformator dimana arah lilitannya saling berlawanan. Arah lilitan yang sama akan menyebabkan gaya gerak listrik saling menjumlahkan dan arah yang berlawanan akan menyebabkan gaya listrik saling mengurangi.

Adapun rangkaian yang digunakan dalam pengujian polaritas adalah seperti pada Gambar 4.8.

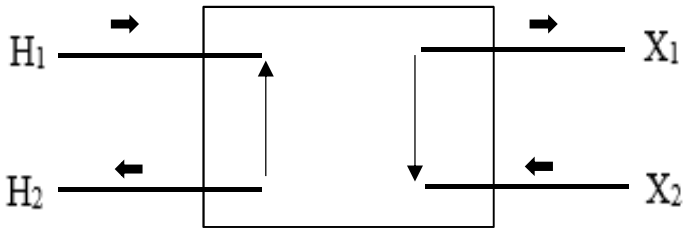


Gambar 4. 8 Rangkaian pengujian polaritas transformator

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Polaritas

Pengujian	**V**	**V'**
Pengujian 1	5 V	11 V
Pengujian 2	10 V	19 V
Pengujian 3	15 V	22 V
Pengujian 4	20 V	28 V

Dari hasil pengujian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa transformator memiliki polaritas *additive*. Sebab, transformator memiliki nilai V' lebih besar dari V yang artinya kedua GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi saling menjumlahkan, sehingga polaritas transformator saling menambahkan. Polaritas ini dapat dipengaruhi dari arah lilitan primer dan sekunder pada transformator. Gambar 4.9 adalah gambar arah lilitan yang akan mempengaruhi polaritas *additive* pada transformator.



Gambar 4. 9 Arah lilitan polaritas *additive*

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa.

1. Transformator berhasil dinaikkan kualitasnya setelah diperbaiki isolasinya menggunakan isolasi cair jenis oli pelumas mesran SAE 40 produksi pertamina dengan tegangan input primer 180 V dan tegangan output sekunder 8.181 V.
2. Kenaikkan kualitas transformator yang tidak terlalu *significant* dipengaruhi oleh kerusakan yang terjadi dibagian sekunder akibat kualitas tembaga yang tidak begitu baik dan pengujian tegangan tinggi yang dilakukan berkali-kali. Berdampak pada kemampuan lilitan melemah dan mudah untuk putus.
3. Transformator memiliki karakterisasi, yaitu rugi rugi inti sebesar 35 watt, impedansi ekivalen inti (34.87 + j 171.88) Ω, resistansi ekivalen inti 882 Ω, dan reaktansi ekivalen inti 178.96 Ω yang didapatkan dari pengujian hubung buka. Sedangkan, resistansi ekivalen tembaga sebesar R_{eq} = 118.8 Ω, impedansi ekivalen tembaga Z_{eq} = 120 Ω, reaktansi ekivalen tembaga X_{eq} = 16.92 Ω, dan rugi rugi tembaga sebesar 74.25 mW didapat dari pengujian hubung singkat. Transformator juga memiliki polaritas *additive*

5.2 Saran

1. Transformator harus diperbaiki lilitannya di bagian sekunder apabila ingin digunakan kembali sebagai bahan penelitian, pembelajaran, dan kebutuhan semisalnya.
2. Pemilihan lilitan baru pada bagian sekunder harus mempertimbangkan kualitas penghantarnya, agar penggunaannya dapat bertahan lama.
3. Kemampuan isolator pada isolasi cair harus selalu terjaga. Diantaranya adalah dengan memastikan kemurnian isolasi cair agar tidak terkontaminasi dengan zat apapun. Hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas kemampuan isolasi sebagai isolator.
4. Ukuran dimensi akrilik (tangki) diperbaiki agar efisien dalam mobilitas, dengan tetap mempertimbangkan kondisi transformator yang tenggelam dalam isolator cair.

DAFTAR PUSTAKA

[1] *Harlow, Electrical Power Transformator Engineering, France: CRC Press, 2012.*

[2] B. L. Tobing, Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Jakarta: Erlangga, 2012.

[3] A. Junaidi, "Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair," *Teknoin,* vol. 13, p. 4, 2008.

[4] M. N. Rahman, "Rancang Bangun Transfomator Step Up 220 V/ 10 kV, 25 mA, 50 Hz," Yogyakarta, 2017.

[5] Taufik, Darsono, "Simulasi Sumber elektron jenis Dioda MBE Lateks PSTA menggunakan program Opera-3D," in Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Yogyakarta, 2014.

[6] Sumaryadi, Sutadi, Rany Saptaaji, "Pembuatan Transformator 300 VA Terisolasi Tegangan Tinggi 150 kV," in Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, 2013.

[7] http://ilmukulistrik.blogspot.co.id/2014/04/, 2014.

[8] A. Kadir, Transformator, Jakarta: UI Press, 2010.

[9] A. S. Prabwo, "Pembuatan Simulator Elektrik *Cat Machine 740 (Articulated Dump Truck)* khusus Aksesoris," Politeknik negeri Padang, Padang, 2017.

[10] *M. Ertürk, "Optimum Insulation Thicknesses of Pipe with Respect to Different Insulation Materials, Fuels, and Climate Zone in Turkey," Energy, vol. 113, pp. 2-3, 2016.*

[11] Tadjuddin, "*Partial Discharge* dan Kegagalan Isolasi," Elektro Indonesia, Sulawesi Selatan, 1998.

[12] Dwi Aji Sulistyanto, Hermawan, Abdul Syakur, "Analisis Arus Bocor dan Tegangan *Flashover* pada Isolator Suspensi 20 kV 3 Sirip dengan 4 Tipe Sirip Berbahan Polimer Resin Epoksi Silane Silika," Universitas Diponegoro, Semarang.

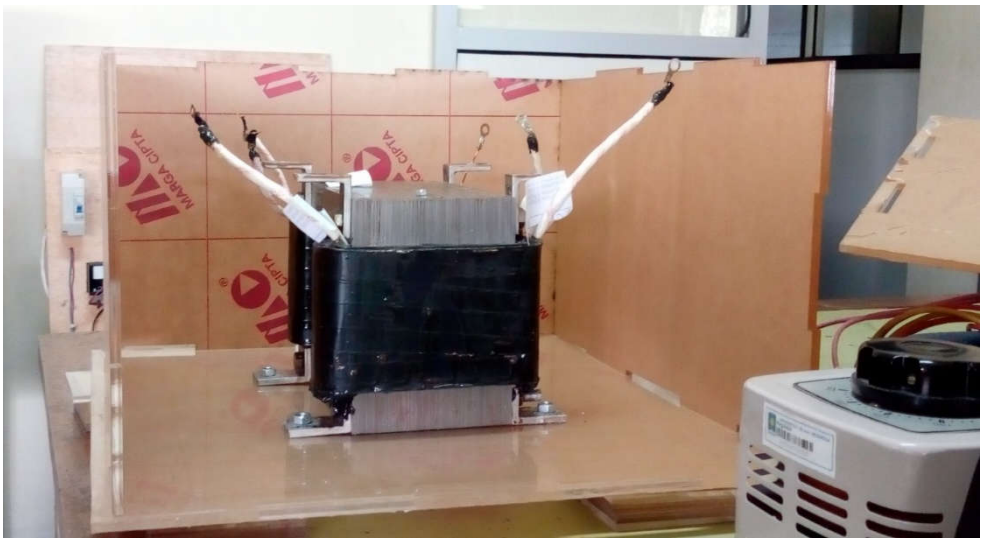
[13] *Mark Lashbrook, Attila Gyore, Russell Martin, "A Review of the Fundamental Dielectric Characteristic of Ester-Based Dielectric Liquids," Transformator Research and Asset Management, vol. 202, p. 4, 2017.*

[14] https://konversi.wordpress.com/2008/12/02/mendapatkan-rangkaian-ekivalen-trafo/, 2008.

[15] Darsono, Saefurrochman, Rian Suryo Darmawan, Suhartono, "Analisis Desain dan Uji Kinerja STT-MBE Basis Trafo," Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN, Yogyakarta, 2012.

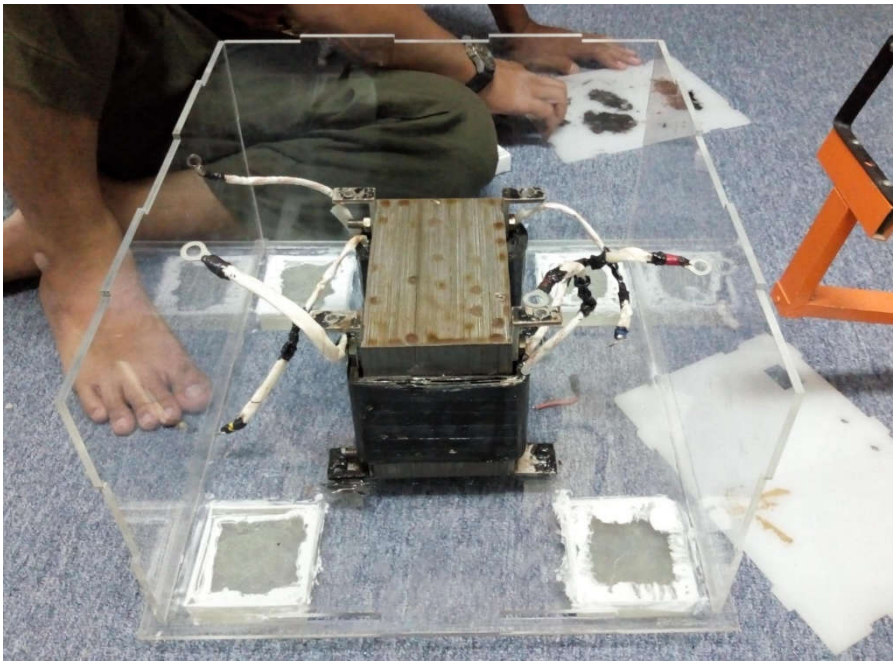
LAMPIRAN

Lampiran 1



Kondisi Transformator yang belum ditambahkan isolasinya.

Lampiran 2



Proses Perancangan wadah Transformator dan memasukkan Transformator kedalamnya.

Lampiran 3



Proses Pengujian Alat di Laboratorium Ketenagaan