



**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK JARAK SEBAGAI  
ALTERNATIF ISOLASI CAIR PADA TRANSFORMATOR  
DAYA MENGGUNAKAN DESTILASI VAKUM  
DENGAN VARIASI FENOL**

**SKRIPSI**

oleh

**Farah Adibah  
NIM 121910201008**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**



**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK JARAK SEBAGAI  
ALTERNATIF ISOLASI CAIR PADA TRANSFORMATOR  
DAYA MENGGUNAKAN DESTILASI VAKUM  
DENGAN VARIASI FENOL**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Farah Adibah  
**NIM 121910201008**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas pertolongan, petunjuk serta berkah rahmat-Nya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Junjunganku Nabi Muhammad SAW atas ajaran, syafaat dan cintanya kepada umatnya;
2. Abi Said dan Umi Zuroidah yang telah memberikan segalanya, yang selalu mendoakan, mencurahkan kasih sayang, memberikan perhatian, memberi semangat yang tiada hentinya dan telah memberikan dukungan materi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Kakakku Firzah Rizqiyah dan Adikku Firah Zarwandah yang selalu memberikan motivasi saat mulai patah semangat, memberikan dukungan lewat doa dan kesabaran serta menghibur dikala duka.

**MOTTO**

“Man Jadda Wa Jadda ”

-Barang Siapa Yang Bersungguh-Sungguh dia Akan Berhasil-

“Percayalah, Tuhan tak Pernah Salah dalam Memberi Rezeki “

“Rahasia Terbesar Mencapai Kesuksesan adalah tidak ada. Siapapun akan  
Menjadi Sukses jika Mau Berusaha dengan Sungguh-Sungguh”

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Farah Adibah

NIM : 121910201008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” *Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum dengan Variasi Fenol* ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2016

Yang menyatakan,

Farah Adibah

NIM 121910201008

**SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK JARAK SEBAGAI  
ALTERNATIF ISOLASI CAIR PADA TRANSFORMATOR  
DAYA MENGGUNAKAN DESTILASI VAKUM  
DENGAN VARIASI FENOL**

Oleh

Farah Adibah

NIM 121910201008

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum dengan Variasi Fenol ” telah diuji dan disahkan pada :

Hari :

Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.  
NIP 19800610 200501 1 003

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 19700404 199601 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr.Bambang Sri Kaloko S.T., M.T  
NIP 19710402 200312 1 001

Dr. Ir.Bambang Sujanarko, M.M  
NIP 19631201 199402 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP 19661215 199503 2 001

*Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif  
Isolasi Cair Pada Transformator Daya  
Menggunakan Destilasi Vakum  
dengan Variasi Fenol*

**Farah Adibah**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

Kegagalan operasi pada transformator bisa disebabkan oleh beberapa faktor, perlu adanya pengecekan atau pemeliharaan rutin di beberapa bagian, salah satunya pada bagian isolasi minyak transformator yang berfungsi sebagai pendingin saat transformator beroperasi. Minyak yang digunakan saat ini tidak ramah lingkungan oleh karena itu perlu adanya alternatif minyak yang diperoleh dari hasil alam. Ada beberapa alternatif minyak yang bisa menjadi pengganti minyak trafo, salah satunya minyak jarak. Minyak jarak yang digunakan kali ini dengan melalui proses destilasi vakum dan adanya penambahan variasi fenol. Ada beberapa karakteristik yang diuji dari minyak jarak, diantaranya tegangan tembus, massa jenis, viskositas dan gas. Pada pengujian tegangan tembus hasil yang didapatkan saat adanya penambahan fenol 100 ml dan suhu pengujian 100<sup>0</sup>C adalah 33.33 kV/2.5mm, pengujian viskositas 7,21 cSt, massa jenis 0,9249 dari hasil tersebut yang memenuhi standar IEC yaitu hasil dari pengujian tegangan tembus dan viskositas. Hasil dari pengujian kandungan gas pada minyak jarak terdapat senyawa yang sangat dominan yaitu asam linoleat sebesar 78% pada minyak jarak murni.

**Kata kunci:** alternatif isolasi minyak, destilasi vakum, karakteristik isolasi minyak jarak, , transformator daya

*Study of Characteristic Castor Oil As Alternative Insulating Liquid  
in Power Transformers by Vacuum Distillation  
With Phenol Variations*

**Farah Adibah**

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
University of Jember*

**ABSTRACT**

*Failure operation of the transformer can be caused by several factors, need for checks or routine maintenance in some parts, one of which on the part of the transformer insulating oil serves as a coolant when the transformer in operation. This oil are not environmentally because of the need for alternatives to oil derived from natural products. There are several alternatives to oil that can be a substitute for transformer oil, one of them is castor oil . Castor oil is used this time through a process of vacuum distillation and the addition of phenol variations. There are some characteristics that were tested from castor oil, including breakdown voltage, density, viscosity and gas. In the breakdown voltage test results are obtained when the addition of 100 ml of phenol and test temperature of 100<sup>0</sup>C is 33.33 kV / 2.5mm, testing 7.21 cSt viscosity, density 0.9249 from these results that meet IEC standards is the result of a breakdown voltage testing and viscosity. The results of the test gas content in castor oil are highly dominant compounds linoleic acid of 78% on a pure castor oil.*

**Keyword :** *alternative insulating oil, insulating characteristics castor oil, power transformers, vacuum distillation,*

## RINGKASAN

**Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum Dengan Variasi Fenol;** Farah Adibah, 121910201008; 2016: 56 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan perusahaan yang beroperasi dalam bidang kelistrikan dan erat kaitannya dengan pelayanan masyarakat. Dalam menghadapi konsumen, PLN selalu berusaha memberikan pelayanan yang terbaik, tidak sedikit masalah yang timbul saat melakukan pengoperasian penyaluran listrik, salah satunya pada transformator. Gangguan yang diakibatkan oleh transformator bisa menyebabkan pemutusan daya ke konsumen rumah tangga maupun perusahaan. Untuk mengatasi hal tersebut tidak disarankan untuk mengganti transformator, karena transformator merupakan aset yang mahal. Oleh karena itu perlu adanya pengecekan pada bagian yang mengalami gangguan, salah satunya yang paling membutuhkan perhatian dan perawatan yaitu minyak isolasi transformator. Bahan yang terkandung didalam minyak isolasi transformator tidak sedikit didapat dari hasil tambang di Indonesia, sehingga menyebabkan kerusakan pada lingkungan, bahan isolasi transformator diantaranya ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom, dan perak (Djiteng, 2011). Alasan tersebut menjadi salah satu kekurangan minyak isolasi transformator yang selama ini dipakai sebagai media isolasi dan media pendingin pada transformator. Berlatar belakang uraian diatas, perlu adanya pengganti alternatif yang bisa menyelesaikan dan tidak merusak lingkungan. Pemanfaatan sumber daya alam yang mampu diolah dan digunakan. Minyak jarak, minyak kelapa murni (virgin coconut oil) dan minyak kemiri sunan yang sampai saat ini bisa menjadi pengganti dari minyak isolasi transformator. Apalagi di Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang sangat baik, sehingga Indonesia termasuk produsen minyak nabati di dunia. Dalam penelitian ini minyak jarak di uji dengan menggunakan proses destilasi vakum dengan variasi zat aditif fenol

antara lain 30 ml, 50 ml, dan 100 ml, hal ini atas dasar saran dari (Kurrahman HT, 2010) bahwa dengan penambahan fenol pada minyak jarak akan memperbaiki nilai tegangan tembus. Ada 3 sifat minyak isolasi transformator yang akan dilakukan pengujian dalam penelitian ini, diantaranya sifat fisika meliputi massa jenis dan viskositas. Sifat kimia meliputi pengujian gas dan warna, dan yang terakhir sifat elektrik yaitu pengujian tegangan tembus. Pada penelitian memakai proses destilasi vakum, proses destilasi yang dilakukan pada suhu yang konstan yaitu 80<sup>0</sup>C, karena suhu tersebut didapat dari rata rata suhu yang digunakan pada proses destilasi pada umumnya. Waktu yang dibutuhkan untuk proses destilasi ini selama 120 menit pada setiap minyak jarak. Setelah proses destilasi yang dilakukan, dilanjutkan dengan proses penambahan zat aditif (fenol) dengan jumlah yang bervariasi, diantaranya 30 ml, 50 ml, dan 100 ml. Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan variasi temperatur dan fenol. Nilai yang dihasilkan saat temperatur 70<sup>0</sup>C dengan fenol 100 ml sebesar 19 kv/2,5mm, temperatur 80<sup>0</sup>C dengan fenol 100 ml sebesar 25 kv/2,5mm, temperatur 90<sup>0</sup>C dengan fenol 100 ml sebesar 30,6 kv/2,5mm, temperatur 100<sup>0</sup>C dengan fenol 100 ml sebesar 33,33 kv/2,5mm. Pengujian massa jenis pada minyak jarak hasilnya semakin meningkat dengan adanya penambahan fenol yang semakin naik, pada saat fenol 50 ml didapatkan nilai massa jenis 0,9161, sedangkan pada fenol 100 ml sebesar 0,9249. Pada pengujian viskositas kinematik, alat yang digunakan yaitu viskometer ostwald dengan hasil pengujian terendah saat minyak jarak ditambahkan fenol 100 ml, mendapatkan hasil sebesar 7,795 cSt. Pengujian gc-ms terdapat beberapa senyawa yang terkandung didalam minyak jarak. Senyawa senyawa tersebut memiliki kadar yang berbeda beda pada setiap sampel minyak jarak, minyak jarak murni memiliki kandungan senyawa paling besar yaitu asam linoleat sebesar 78,74%, ini juga terjadi pada minyak jarak dengan fenol 30 ml dan 100 ml bahwa kandungan yang terbesar terdapat pada senyawa asam linoleat yaitu sebesar 72,335% dan 64,27%.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum dengan Variasi Fenol”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidyah M.UM, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga dan memberikan dukungan materi dalam kelancaran penyusunan skripsi;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan banyak masukan untuk penyempurnaan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M, selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
6. Ibu Lesty Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm selaku dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember yang selama ini telah banyak memberi masukan masukan saat penulis dalam proses pengerjaan skripsi;
7. Kedua orang tuaku terkasih, Abi Said dan Umi Zuroidah yang telah memberikan segalanya, yang selalu mendoakan, mencurahkan kasih sayang,

memberikan perhatian, memberi semangat yang tiada hentinya dan telah memberikan dukungan materi untuk menyelesaikan skripsi ini;

8. Kakakku Firzah Rizqiyah dan Adikku Firah Zarwandah yang selalu memberikan motivasi saat mulai patah semangat, memberikan dukungan lewat doa dan kesabaran serta menghibur dikala duka;
9. Sofwan, yang selalu setia menemani dan memberi semangat, dukungan dari awal sampai selesainya skripsi ini;
10. Sahabat tersayangku, Rina Anggraeni dan Aliflah Felen Diana Rosi yang telah berbagi banyak pelajaran (pahit manisnya hidup) dan bersedia mendengarkan keluh kesah selama penulis berada di Jember;
11. Partner Skripsi Kyrana Sari Widyaningrum dan Irfangi yang telah membantu dalam proses pengujian skripsi;
12. Ahmad Sulhan, Dovy Risiko Baskoro, Ramadhan Purnama Aji, Hendro Rosyidi S, yang selalu menghibur dan memberikan gosip terkini selama penulis berada di perantauan;
13. Rekan-rekan di Project-D yang telah member bantuan dan masukan untuk menyelesaikan skripsi ini;
14. Teman-teman seperjuangan, SATE UJ 2012 yang telah menjadi keluarga kedua selama penulis merantau;
15. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 24 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
RINGKASAN .....	x
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
<b>BAB. 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Transformator .....	5
2.2 Minyak Isolasi Transformator .....	6
2.2.1 Jenis – Jenis Minyak Isolasi .....	6
2.2.1.1 Zat Penyusun Minyak Transformator .....	6
2.2.1.2 Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak .....	9
2.2.1.3 Sifat-sifat Listrik Isolator Minyak .....	11

2.2.1.4 Minyak Isolasi mineral dan sintetis .....	12
2.2.2 Manfaat Minyak Transformator .....	14
<b>2.3 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Standarisasi Pengujian Tegangan Tembus.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Alternatif Pengganti Minyak Transformator.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Proses Destilasi .....</b>	<b>24</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Tempat Penelitian .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Proses Destilasi .....	25
3.2.2 Pengujian Massa Jenis .....	28
3.2.3 Pengujian Viskositas .....	29
3.2.4 Pengujian Tegangan Tembus .....	31
3.2.5 Pengujian GC-MS .....	32
<b>3.3 Metode Penelitian .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Prosedur Pengujian .....</b>	<b>34</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Proses Destilasi Minyak Jarak.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Pengujian – Pengujian .....</b>	<b>42</b>
4.2.1 Pengujian Dielektris .....	42
4.2.2 Pengujian Sifat Fisik .....	45
4.2.3 Pengujian GC-MS .....	50
<b>4.3 Hubungan Variasi Fenol Dengan Karakteristik Isolasi Minyak Jarak .....</b>	<b>53</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Kesimpulan .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2 Saran .....</b>	<b>55</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>59</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Kandungan asam lemak pada minyak jarak.....	22
Tabel 2.2 Sifat fisika kimia pada minyak jarak.....	23
Tabel 4.1 Tegangan Tembus Minyak Jarak Pada Suhu Isolasi Transformator...	44
Tabel 4.2 Tegangan Tembus Minyak Shell Diala B Pada Suhu Isolasi Transformator.....	45
Tabel 4.3 Data Hasil Uji Massa Jenis pada Suhu Ruang .....	47
Tabel 4.4 Data Hasil Uji Massa Jenis pada Suhu 20 <sup>0</sup> C.....	47
Tabel 4.5 Data Hasil Uji Viskositas .....	50
Tabel 4.6 Pengujian GC-MS .....	51
Tabel 4.7 Hubungan Variasi Fenol Dengan Karakteristik Isolasi Minyak Jarak	54

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Elektroda pengukur tegangan tembus .....	17
Gambar 2.2 Elektroda untuk mengukur tegangan tembus .....	18
Gambar 2.3 Buah Kelapa Sawit .....	19
Gambar 2.3 Minyak CPO.....	19
Gambar 2.4 Minyak Kedelai .....	20
Gambar 2.5 Minyak Jarak .....	21
Gambar 2.5 Proses pembuatan minyak jarak .....	21
Gambar 3.1 Proses Destilasi .....	27
Gambar 3.2 Alat uji massa jenis .....	28
Gambar 3.3 Viskometer Ostwald.....	30
Gambar 3.4 Peralatan Uji Tegangan Tembus .....	31
Gambar 3.5 Peralatan Uji GCMS.....	32
Gambar 4.1 Warna Minyak Jarak dengan Variasi Fenol .....	41
Gambar 4.2 Standar warna minyak isolasi Transformator .....	42
Gambar 4.3 Batas Viskometer oswald .....	49

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan perusahaan yang beroperasi dalam bidang kelistrikan dan erat kaitannya dengan pelayanan masyarakat. Dalam menghadapi konsumen, PLN selalu berusaha memberikan pelayanan yang terbaik, tidak sedikit masalah yang timbul saat melakukan pengoperasian penyaluran listrik, salah satunya pada transformator. Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui aksi medan magnet.

Gangguan yang diakibatkan oleh transformator bisa menyebabkan pemutusan daya ke konsumen rumah tangga maupun perusahaan. Untuk mengatasi hal tersebut tidak disarankan untuk mengganti transformator, karena transformator merupakan aset yang mahal. Penggantian transformator untuk meningkatkan keandalan sistem secara ekonomis bukan pilihan yang tepat. Oleh karena itu perlu adanya pengecekan pada bagian yang mengalami gangguan, salah satunya yang paling membutuhkan perhatian dan perawatan yaitu minyak isolasi transformator.

Fungsi utama dari minyak isolasi transformator ada dua yaitu sebagai media isolasi dan media pendingin. Bahan yang terkandung didalam minyak isolasi transformator tidak sedikit didapat dari hasil tambang di Indonesia, sehingga menyebabkan kerusakan pada lingkungan, bahan isolasi transformator diantaranya ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom, dan perak (Djiteng, 2011). Alasan tersebut menjadi salah satu kekurangan minyak isolasi transformator yang selama ini dipakai sebagai media isolasi dan media pendingin pada transformator.

Berlatar belakang uraian diatas, perlu adanya pengganti alternatif yang bisa menyelesaikan dan tidak merusak lingkungan. Pemanfaatan sumber daya alam yang mampu diolah dan digunakan. Minyak jarak, minyak kelapa murni (virgin coconut oil) dan minyak kemiri sunan yang sampai saat ini bisa menjadi

pengganti dari minyak isolasi transformator. Apalagi di Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang sangat baik, sehingga Indonesia termasuk produsen minyak nabati di dunia.

Penelitian dengan minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya (Kurrahman HT, 2010) bahwa hasil yang didapat pada saat pengujian tegangan tembus sebesar 17.55 kV pada jarak sela 2.5 mm sehingga masih dibawah standar SPLN 49-1 yaitu sebesar  $\geq 30$  kV/2.5 mm untuk memenuhi persyaratan alternatif isolasi cair. Dengan hasil yang diperoleh dari penelitian ini yang kurang memenuhi standar, disarankan untuk menambahkan larutan fenol yang berfungsi untuk menaikkan atau memperbaiki nilai tegangan tembus.

Penelitian dengan minyak kelapa murni (*Virgin Coconut Oil*) sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya (Budiyantoro, 2010) bahwa hasil yang didapat pada saat pengujian tegangan tembus sebesar 29.17 kV pada jarak sela 2.5 mm sehingga masih dibawah standar SPLN 49-1 yaitu sebesar  $\geq 30$  kV/2.5 mm untuk memenuhi persyaratan alternatif isolasi cair. Jika hanya dilihat dari tegangan tembusnya maka minyak kelapa murni dapat digunakan sebagai alternatif isolasi cair untuk peralatan listrik dengan tegangan kerja  $\leq 2.4$  kV, berdasarkan standarisasi NESC (National Electrical Safety Code) tahun 1990.

Penelitian sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh (anang, 2008) dengan menggunakan minyak jarak sebagai alternatif isolasi cair dengan menggunakan metode destilasi. Hasil dari penelitian pengujian minyak jarak setelah destilasi pada kondisi standar diperoleh tegangan tembus sebesar 30,8 kV pada suhu 30°C . Dari hasil tersebut dianggap kurang memenuhi standar dari SPLN 49-1 menyebutkan bahwa tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\geq 30$  kV / 2,5 mm.

Dalam penelitian ini minyak jarak di uji dengan menggunakan proses destilasi vakum dengan variasi zat aditif fenol antara lain 30 ml, 50 ml, dan 100 ml, ada 3 sifat minyak isolasi transformator yang akan dilakukan pengujian dalam penelitian ini, diantaranya sifat fisika meliputi massa jenis dan viskositas.

Sifat kimia meliputi pengujian gas dan warna, dan yang terakhir sifat elektrik yaitu pengujian tegangan tembus.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan masalah pada minyak isolasi transformator yang tidak ramah lingkungan, bisa diselesaikan dengan

1. Bagaimana proses destilasi vakum terhadap minyak jarak yang telah ditambahkan zat aditif fenol?
2. Seberapa besar pengaruh penambahan zat aditif fenol terhadap karakteristik isolasi transformtor pada minyak jarak yang telah terdestilasi vakum?
3. Bagaimana hubungan karakteristik minyak jarak terhadap variasi fenol?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari tidak terfokusnya penelitian ini, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel uji yang digunakan adalah minyak jarak yang tepat sebelum dan sesudah proses destilasi dan penambahan fenol. Minyak transformator jenis *Shell Diala B* digunakan sebagai pembanding.
2. Tegangan yang diterapkan untuk pengujian adalah tegangan AC (bolak-balik) frekuensi rendah 50 Hertz.
3. Pengujian tegangan tembus menggunakan elektroda setengah bola.
4. Jarak sela antar elektroda yang digunakan pada pengujian tegangan tembus sebesar 2,5 mm berdasarkan standar IEC 156
5. Tidak membahas struktur kimia pada minyak jarak.
6. Tidak membahas perubahan zat pada sampel uji pada pengujian tegangan tembus.
7. Analisis dibatasi terhadap hasil pengujian tegangan tembus, viskositas, warna, dan massa jenis minyak jarak dengan sebelum dan sesudah menggunakan proses destilasi dengan penambahan fenol dengan minyak transformator sebagai pembanding.

#### **1.4 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan proses destilasi vakum terhadap minyak jarak yang telah ditambahkan zat aditif fenol. Selain itu untuk menganalisa pengaruh penambahan zat aditif fenol terhadap karakteristik isolasi transformator pada minyak jarak yang telah terdestilasi vakum. Yang terakhir adalah untuk mengetahui hubungan karakteristik minyak jarak terhadap variasi fenol dan temperatur.

#### **1.5 Manfaat**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan penggunaan minyak jarak sebagai salah satu alternatif pengganti minyak transformator dengan proses destilasi dan penambahan fenol. Dan sebagai bahan acuan bagi penelitian – penelitian selanjutnya pada bidang yang sejenis.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan statis untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak/berputar, tidak seperti motor atau generator .

Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dasar teori dari transformator adalah apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL).

Ada beberapa macam jenis transformator, salah satu nya yaitu transformator daya. Transformator daya merupakan peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi menengan di gardu induk (GI), merupakan salah satu unsur penting dalam proses penyediaan tenaga listrik (Djiteng, 2011). Selain harganya yang mahal, kerusakan transformator daya di GI akan menyebabkan terganggunya penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Secara operasional rusaknya salah satu transformator daya dalam GI memerlukan manuver operasi untuk memindah beban dari transformator yang rusak ke transformator yang lain dengan meghindarkan terjadinya pembebanan lebih pada transformator yang tidak rusak, yang masih beroperasi. Jika pemindahan beban ini tidak mungkin sepenuhnya dilakukan, maka perlu dilakukan pemadaman beban.

## 2.2 Minyak Isolasi Transformator

Minyak transformator juga memberikan fungsi isolasi antara belitan-belitan dengan badan transformator dan benda-benda lain di luar transformator. Selain itu minyak transformator juga berfungsi sebagai media pendingin untuk menyerap panas dari inti transformator dan dari belitan transformator. Suatu peralatan elektrik harus memiliki isolasi elektrik dan juga harus memiliki isolasi thermal. Isolasi elektrik berfungsi sebagai pemisah antara bagian-bagian peralatan yang memiliki beda potensial, sedangkan isolasi thermal berfungsi menyerap panas yang terdisipasi. Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain :

- a. isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen.
- b. Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi.
- c. Ketiga isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

### 2.2.1 Jenis-jenis Minyak Isolasi

Minyak isolasi biasanya terdiri dari beberapa jenis, berdasarkan bahan pembuatnya, minyak isolasi terdiri dari, minyak isolasi yang berasal dari olahan minyak bumi, yang saat ini banyak digunakan dan yang saat ini banyak diteliti adalah minyak isolasi berasal dari tumbuh-tumbuhan atau disebut minyak nabati (minyak organik).

#### 2.2.1.1 Zat Penyusun Minyak Transformator

Bahan dasar pembuatan minyak transformator adalah minyak mentah (*crude oil*). Namun pabrik – pabrik pembuat minyak transformator menambah zat – zat tertentu untuk mendapatkan kualitas dielektrik lebih yang baik. Minyak transformator terbuat dari bahan kimia organik, merupakan senyawa atom – atom

C dan H (Djiteng M, 2011). Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon.

a. Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon adalah senyawa kimia yang terdiri dari unsur-unsur hidrogen dan karbon. Senyawa hidrokarbon yang merupakan bagian terbesar dari minyak dapat dibagi atas tiga kelompok besar yaitu senyawa parafin, senyawa naphtena, dan senyawa aromatik.

1. Senyawa parafin

Parafin adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai rantai karbon lurus atau bercabang, yang dalam kimia organik dikenal sebagai senyawa dengan rantai terbuka atau senyawa alifatis.

2. Senyawa Naphtena

Senyawa naphtena digolongkan sebagai senyawa hidrokarbon yang mempunyai rantai tertutup atau struktur berbentuk cincin. Senyawa ini dikenal pula sebagai senyawa alisiklis. Masing-masing cincin dapat berisi lima atau enam atom karbon. Senyawa naphtena dapat berupa monosiklik, disiklik, dan seterusnya tergantung pada jumlah cincin yang dimilikinya. Pada masing-masing cincin dapat pula terhubung.

3. Senyawa Aromatik

Senyawa ini memiliki satu atau lebih cincin aromatik yang dapat bergabung dengan cincin alisiklik. Beberapa senyawa aromatik berfungsi sebagai penghambat oksidasi (inhibitor) dan penjaga kestabilan, tetapi jika jumlahnya terlalu banyak akan bersifat merugikan yaitu berkurangnya kekuatan dielektrik, serta berkurangnya sifat pelarutan minyak terhadap isolasi padat di dalamnya. Ketiga hidrokarbon diatas memiliki fungsi yang berbeda pada minyak mentah. Minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral yang antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.

b. Senyawa Non Hidrokarbon

Unsur pokok nonhidrokarbon yang terdapat dalam minyak transformator adalah substansi asphalt / tar, senyawa organik yang mengandung belerang dan nitrogen, asam naphtena, ester, alkohol dan senyawa organometalik.

#### 1. Ter

Proses Pemurnian minyak transformator, sebagian besar ter dihilangkan. Pada minyak hasil pemurnian ini hanya terdapat ter dengan konsentrasi rendah yaitu antara 2 – 2.5% berat. Walaupun jumlahnya sangat sedikit, beberapa jenis senyawa ini mempunyai pengaruh pada sifat kerja minyak transformator. Senyawa ini memberikan warna yang khas pada minyak, beberapa diantaranya memiliki efek sebagai penghambat. Ter juga mempercepat proses oksidasi. Ter diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ter netral, senyawa yang larut dalam minyak eter yang berwujud cair atau semi cair dengan masa jenis sekitar satu.
- b. Asphaltena, substansi padat yang tidak larut dalam minyak eter tetapi larut dalam benzena, senyawa benzena seri, kloroform dan karbon disulfida. Bermassa jenis lebih besar dari satu.
- c. Karbena, substansi yang tidak larut dalam pelarut konvensional tetapi dapat larut sebagian dalam pridin dan karbon disulfida.

#### 2. Senyawa Sulfur (belerang)

Senyawa sulfur selalu terdapat pada semua minyak mentah, jumlahnya bervariasi mulai lebih kecil dari 1% sampai dengan 20% berat. Senyawa ini mempunyai pengaruh pada sifat-sifat minyak dan turut menentukan proses yang diperlukan untuk mengolah minyak. Bagian dari hasil penyulingan minyak yang mempunyai titik didih rendah hampir semua senyawa sulfur terdapat didalamnya, tetapi untuk hasil penyulingan yang mempunyai titik didih di atas 200 °C kebanyakan mengandung senyawa sulfur dengan struktur siklis. Beberapa kelompok besar senyawa sulfur yang terdapat dalam minyak adalah :

- a. Mercaptan (tiol), senyawa ini mempunyai rumus kimia RSH, dimana R besar adalah radikal parafin dengan rantai lurus atau bercabang atau, radikal hidrokarbon siklik (aromatik atau alisiklik).

- b. Sulfida (thiaalkana), senyawa ini mempunyai rumus kimia  $RSR_1$ , dimana R dan  $R_1$  adalah radikal hidrokarbon.
- c. Disulfida (bithiaalkana), dengan rumus kimia  $RSSR$ .
- d. Thiopena, struktur dasar dari senyawa ini adalah struktur cincin dengan lima atom, salah satunya atom belerang. Beberapa senyawa belerang yang terdapat di dalam minyak transformator bersifat korosif dan tidak stabil. Oleh karena itu dalam proses destilasi minyak diusahakan untuk menghilangkannya atau menekan jumlah senyawa belerang agar pengkorosian tembaga (yang berhubungan langsung dengan minyak transformator) dapat dicegah atau dikurangi.

### 3. Senyawa Nitrogen

Jumlah senyawa nitrogen yang terkandung dalam minyak cukup kecil, paling tinggi 0.8%. Walaupun senyawa ini sangat sedikit terdapat dalam minyak, senyawa ini memegang peranan yang sangat penting pada proses oksidasi yang bersifat katalis sehingga kehadirannya tidak diharapkan.

### 4. Asam Naphtena dan beberapa senyawa yang mengandung oksigen

Asam naphtena juga terdapat dalam minyak bumi dalam jumlah yang cukup besar. Sebagian besar diantaranya terbuang selama proses pemurnian minyak sehingga jumlahnya tinggal sedikit sekali sekitar 0.02%. Disamping asam-asam naphtena, minyak juga mengandung asam-asam dari senyawa alifatik dan aromatik dalam jumlah yang kecil sekali, selain itu masih terdapat pula senyawa ester, alkohol, keton, peroksida.

### 5. Senyawa yang mengandung logam

Minyak transformator selalu mengandung garam-garam dari asam organik dan senyawa metal kompleks. Minyak juga mengandung logam besi, tembaga, aluminium, titanium, kalsium, molibdenum, timah, magnesium, krom dan perak walaupun dalam jumlah yang sangat sedikit.

#### 2.2.1.2 Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak

##### a. Kejernihan (*Appearance*)

Warna minyak yang baik adalah warna yang jernih dan bersih, seperti air murni. Selama transformator dioperasikan, minyak isolator akan melarutkan

suspensi / endapan (*sludge*). Semakin banyak endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap.

b. Massa Jenis (*Spescific Mass*)

Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan. Masa jenis minyak dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang. Pengukuran dilakukan di laboratorium dengan suhu media 20<sup>0</sup> C. Masa jenis minyak yang harus dipenuhi adalah d 0.895 gr/cm<sup>3</sup>. Massa jenis minyak transformator harus lebih rendah daripada air.

c. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)

Viskositas kinematik merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata tanpa adanya gesekan dan gaya gaya lain. Sebagai media pendingin, nilai viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, sebagai faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Makin rendah viskositas, semakin bagus pula konduktivitas termalnya sehingga semakin bagus kualitas dari minyak transformator tersebut.

Secara mekanika, viskositas dirumuskan oleh *Poiseuille* menurut hubungan berikut :

$$\mu = \frac{\pi Pr^4 t}{Vl} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$\mu$  = viskositas (cSt)

P = tekanan (atm)

r = jari-jari tabung (mm)

l = panjang/tinggi tabung (mm)

V = volume cairan yang mengalir (mL)

t = lamanya aliran (s)

Viskositas yang dirumuskan di atas disebut viskositas dinamis atau viskositas mutlak. Sedangkan yang lebih banyak digunakan adalah viskositas kinematik. Viskositas ini merupakan hasil pembagian nilai viskositas dinamis

dengan massa jenis minyak. Satuan viskositas kinematik adalah stokes atau lebih umum memakai centistokes (cSt).

$$V = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2.2)$$

d. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala menunjukkan bahwa minyak transformator dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Semakin tinggi titik nyala semakin baik minyak tersebut

e. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang merupakan temperatur terendah saat minyak masih akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur dibawah temperatur normal. Minyak isolator diharapkan memiliki titik tuang yang serendah mungkin.

f. Kandungan air (*Water Content*)

Adanya air dalam minyak isolator akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolator, serta memacu munculnya *hot spot* sehingga nantinya akan mempercepat kerusakan isolator kertas (kertas dan kayu). Sebagai tambahan, pemanasan yang berlebihan pada transformator akan menyebabkan isolasi kertas pada belitan akan membusuk dan menurunkan umur isolator. Membusuknya isolasi kertas juga berpengaruh pada jumlah kandungan air. Pemecahan molekul serat kertas akan melepaskan sejumlah atom hidrogen dan oksigen bebas yang nantinya akan membentuk air (H<sub>2</sub>O). Naiknya temperatur lebih lanjut akan menyebabkan air bergerak dari isolasi kertas menuju minyak dan menurunkan tegangan tembus minyak. Minyak isolasi diharapkan memiliki kandungan air serendah mungkin.

### 2.2.1.3 Sifat-sifat Listrik Isolator Minyak

a. Tegangan Tembus

Tegangan tembus adalah tegangan ketika pada sebuah isolator itu sudah tidak mampu menghadapi stres tegangan di antara elektroda yang terpisah yang memiliki beda potensial. Proses tembus listrik pada minyak dengan pengaruh medan listrik melibatkan banyak faktor. Salah satunya adalah perpindahan bahan padat yang

basah seperti *fiber* dan bahan kontaminan lain seperti air ke daerah yang bertekanan listrik diantara kedua elektroda.

b. Kekuatan dielektrik

Merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan. Kekuatan dielektrik ini tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri. Namun demikian dalam prakteknya kekuatan dielektrik tergantung pada material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cairan kekuatan dielektrik setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi (Tumiran, 1987).

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas. Misalnya suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda kemudian elektroda diberi tegangan, maka akan timbul medan listrik di dalam dielektrik. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Maka dapat dikatakan bahwa medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Beban yang dipikul dielektrik disebut juga terpaan medan listrik. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik mengalami tembus listrik atau "*breakdown*" (Abduh, Syamsir. 2003).

c. Konstanta Dielektrik

Suatu bahan memiliki kemampuan menyimpan energi listrik yang berbeda-beda, tergantung pada molekul yang menyusunnya. Kemampuan bahan menyimpan energi elektrostatik (Permitivitas) akan naik jika suatu bahan berubah komposisi kimianya sehingga berat molekul bahan tersebut meningkat. Penyimpanan ini terjadi akibat pergeseran relatif kedudukan muatan positif internal dan muatan negatif internal terhadap gaya atomik dan molekular yang normal.

#### 2.2.1.4 Minyak Isolasi mineral dan sintetis

##### a. Minyak isolasi mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya berasal dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini harus mengalami beberapa proses lagi agar diperoleh tahanan isolasi yang tinggi, stabilitas panas yang baik, mempunyai karakteristik panas yang stabil, dan memenuhi syarat – syarat teknis yang lain. Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus daya (CB), dan kapasitor. Dalam hal ini minyak isolasi dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik, bahan pendingin, dan pemadam busur api. Contoh minyak mineral Diala C B (USA), Univolt (Esso), Nynas (Swedia), Mictrans (Jepang), Sun Ohm-MU (Korea), Petromin (Dubai), BP-Energol (UK).

##### b. Minyak isolasi sintetis

Minyak isolasi sintetis adalah minyak isolasi yang diproses secara kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari minyak isolasi mineral. Berikut ini beberapa contoh dari minyak isolasi sintesis adalah askarel, silikon cair, fluorinasi cair, ester sistetis. Aroclor (USA), Clopen (Jerman), Phenoclor (Perancis), Pyroclor (UK), Fenclor (Itali), Pyralene (Perancis), Pyranol (USA).

Berikut adalah jenis – jenis minyak isolasi sintetis :

##### 1. Askeral

Askeral adalah minyak isolasi sintetis yang tidak mudah terbakar apabila terjadi percikan api dan tidak menghasilkan gas yang mudah terbakar. Salah satu jenis askeral yang banyak digunakan adalah dari jenis chlorinated hidrokarbon. Chlorinated hidrokarbon adalah hasil senyawa dari hidrokarbon seperti benzene ( $C_6H_6$ ) dan diphenyl ( $C_6H_5 - C_6H_5$ ) dengan atom clor (Cl) pada suhu tinggi sehingga sebagian atom hidrogen diganti oleh clor. Kelebihan – kelebihan dari minyak askeral adalah :

a. Mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih tinggi

b. Mempunyai sifat thermal, sifat kimia, dan sifat listrik yang stabil Tetapi disamping itu minyak askeral memiliki kelemahan yaitu apabila terjadi

percikan api dapat menghasilkan asam klorida (HCL) yang bersifat korosif pada logam.

## 2. Silikon Cair ( *Silicon Liquids* )

Minyak isolasi silikon cair adalah campuran dari atom silikon (Si) dan ( $O_2$ ) dengan bahan organik seperti methyl dan penhyl. Minyak isolasi silikon sebagai bahan isolasi cair mempunyai ketahanan yang baik terhadap temperatur yang tinggi yaitu sekitar  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , mempunyai permitifitas yang rendah (2,20-2,27) dan juga tahan terhadap tegangan dengan frekuensi yang tinggi sampai 1 MHz. Oleh karena sifat dielektrik tersebut silikon cair digunakan pada peralatan radar, penerbangan, dan transformator radio. Silikon cair juga digunakan untuk isolator keramik dengan tujuan memperbesar tahanan permukaan isolator. Kekurangan dari isolator cair adalah menghasilkan gas yang banyak apabila terjadi percikan api yang akan menurunkan kekuatan dielektriknya. Selain itu minyak isolasi ini relatif mahal sehingga jarang digunakan pada transformator tenaga yang besar.

## 3. Flourinasi Cair ( *Flourinated Liquids* )

Flourinasi cair adalah jenis minyak isolasi yang bahan dasarnya adalah senyawa organik yang sebagian atom karbonnya telah diganti dengan atom flour (F). Dalam beberapa tahun ini telah dikembangkan beberapa senyawa flour organik, diantaranya adalah  $(C_4H_9)_3N$  dan  $(C_4F_9)_2O$ . Cairan ini mempunyai sifat kimia yang sangat stabil dan dapat digunakan secara kontinuitas pada suhu  $200\text{ }^\circ\text{C}$  bahkan lebih. Secara umum karakteristik listrik dari flourinasi cair adalah :

- a.  $T_g \delta$  tidak lebih dari 0,0005
- b. Konstanta dielektrik 1,77 – 1,86

Cairan flour organik mempunyai transfer panas yang lebih baik dari minyak isolasi tambang dan juga dari minyak isolasi silikon. Penggunaan minyak isolasi ini adalah pada peralatan elektronika dan transformator elektronik. Kekurangan dari minyak isolasi ini adalah penurunan sifat – sifat dielektriknya yang disebabkan kandungan uap air dan mempunyai sifat mudah menguap. Minyak fluorinated mempunyai harga yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan minyak mineral.

## 4. Ester Sintetis

Jenis minyak ini adalah minyak isolasi cair yang diolah sedemikian rupa dari minyak paraffin untuk mendapatkan karakteristik elektrik yang lebih baik.

Sehingga

didapatkan sifat – sifat seperti dibawah ini :

- a) Mempunyai sifat thermal yang lebih stabil
- b) Tidak mudah terbakar
- c) Dapat

digunakan diatas suhu 300 °C Ester yang digunakan dalam kelistrikan adalah terbuat dari proses kimia yang lebih bersih seperti pentaerythrinol dan asam heptanoik. Hasil dari esterifikasi adalah minyak putih yang mempunyai struktur molekul yang simetris dan terbebas dari kandungan ionik, sehingga mempunyai karakteristik listrik yang lebih baik.

### **2.2.2 Manfaat Minyak Tranformator**

#### **a. Minyak Transformator Sebagai Isolasi**

Pada peralatan tegangan tinggi terdapat daerah – daerah yang memiliki beda tegangan dengan level yang cukup tinggi mencapai ratusan kilo volt. Jika antara bagian yang berpotensi tinggi dengan bagian yang berpotensi rendah terjadi hubungan singkat dapat menimbulkan arus yang tinggi sehingga dapat merusak transformator dan juga dapat merusak peralatan – peralatan lain yang terhubung dengan transformator tersebut. Minyak sebagai bahan isolasi transformator harus mampu menahan *stress* medan listrik yang lebih tinggi agar transformator dapat beroperasi dengan normal. Dalam fungsinya sebagai isolasi maka minyak haruslah mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, faktor rugi-rugi kecil dan resistivitas yang tinggi. (Bastian, 2009)

#### **b. Minyak Transformator Sebagai Pendingin**

Pada transformator pemanasan dapat timbul akibat adanya rugi-rugi energi pada belitan dan inti besi. Proses pemanasan pada transformator ini akan berlangsung secara berkelanjutan selama pengoperasiannya dan akan menyebabkan kenaikan temperatur pada belitan dan inti besi. Jika proses pemanasan ini tidak diimbangi dengan proses pendinginan, maka akan terjadi pemanasan berlebih yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada

transformator. Adanya minyak sebagai cairan pengisi dalam transformator dapat membantu proses pendinginan belitan dan inti. Salah satu kelebihan minyak yaitu dapat mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi serta secara serentak melalui proses konversi energi dapat menyalurkan sekaligus mereduksi panas yang timbul akibat rugi energi.

Pada kebanyakan transformator, minyak bumi (*mineral oil*) merupakan salah satu media yang paling banyak digunakan karena kemampuannya dalam menyerap dan mereduksi panas dalam transformator yang sangat baik. Namun seiring berjalannya waktu, minyak transformator akan mengalami proses penuaan (*ageing*) yang akan menyebabkan degradasi. Oleh sebab itu, untuk menjaga kondisi minyak agar lebih tahan lama, seringkali digunakan metode sirkulasi paksa (*forced*) dengan pompa. Metode sirkulasi paksa merupakan minyak yang disirkulasikan keluar permukaan transformator dan melewati proses pendinginan diluar kemudian disirkulasikan kembali kedalam transformator . Faktor – faktor yang berpengaruh terhadap kemampuan laju penyaluran panas pada minyak antara lain kapasitasansi panas dan konduktivitas termal ( Bastian, 2009).

### **2.3 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator**

#### **A. Kegagalan isolasi (*insulation breakdown, insulation failure*)**

Disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tegangan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar tidak gagal. Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terkait erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul satu ke molekul lain sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu

ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan gagal (Artono Aris Munandar,1983).

Karakteristik pada isolasi cair akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas. Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut (Abduh, Syamsir. 2003) :

1. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan ke dalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.

2. Teori kegagalan gelembung gas

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalam isolasi cair. Gelembung-gelembung udara yang ada dalam cairan tersebut akan memanjang searah dengan medan. Hal ini disebabkan karena gelembung-gelembung tersebut berusaha membuat energi potensialnya minimum. Gelembung gelembung yang memanjang tersebut kemudian akan saling sambung-menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali proses kegagalan.

3. Teori kegagalan bola cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil. Setelah menjadi tidak stabil bola air akan memanjang, dan bila panjangnya telah mencapai dua pertiga celah elektroda maka saluran saluran lucutan akan timbul sehingga kemudian kegagalan total akan terjadi.

4. Teori kegagalan tak murnian padat

Kegagalan tak murnian padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) di dalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.

#### 2.4 Standart Sifat Fisika Kimia Minyak Isolasi Transformator

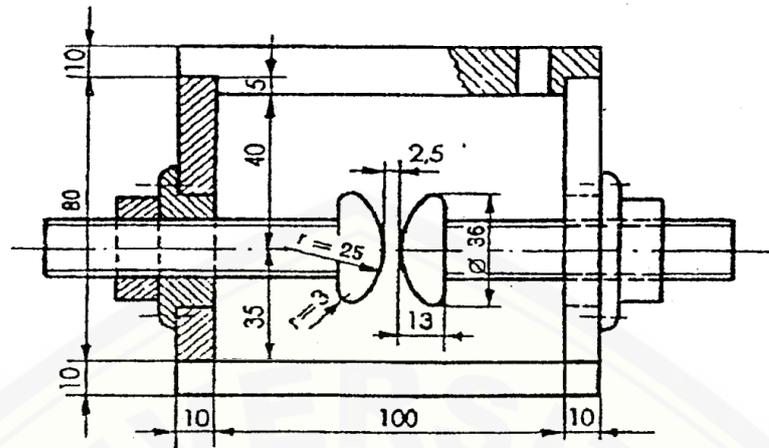
Berikut adalah tabel standart sifat fisika kimia isolasi transformator yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Standart Sifat Fisika Kimia Minyak Isolasi Transformator

Parameter	Standar	Metode	Pustaka
Warna	< 5	ASTM D 1500	PLN No.49/1/1982
Massa Jenis (20°C)	$\leq 0,895 \text{ g/cm}^3$	IEC 296	PLN No.49/1/1982
Viskositas (20°C)	$\leq 25$	IEC 296	PLN No.49/1/1982
DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> )	$\leq 0,40 \text{ mg}$ KOH/g	IEC 74 104.1991	Electro.um.ac.id
Tegangan Tembus	$\geq 30 \text{ kV/2,5}$ mm	IEC 156	PLN No.49/1/1982

#### 2.5 Standarisasi Pengujian Tegangan Tembus

Standarisasi tingkat internasional dikerjakan oleh komisi teknik IEC. Pada tingkat nasional di Indonesia standarisasi dibuat dan diterbitkan oleh PLN yaitu SPLN yang mengacu pada IEC. Elektroda pada pengujian tegangan tembus pada media isolasi cair yang digunakan adalah pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Elektroda untuk mengukur tegangan tembus

Sumber: IEC 156

Elektroda yang digunakan dalam pengujian terbuat dari kuningan, perunggu atau *stainless stell*. Panjang celah antara kedua elektroda adalah 2,5 mm. Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju  $2,0 \text{ kV/s} \pm 0,2 \text{ kV/s}$  hingga terjadi tembus.

## 2.6 Alternatif Pengganti Minyak Transformator

### 2.6.1 Macam- Macam Alternatif Pengganti Minyak Transformator

Beberapa jenis minyak nabati yang dapat menjadi alternatif pengganti minyak transformator. Beberapa minyak nabati yang memiliki potensi sebagai minyak isolasi yaitu :

#### 1. Minyak Kelapa Murni

Minyak kelapa murni atau virgin coconut oil (VCO) adalah minyak yang terbuat dari daging kelapa segar. VCO berbeda dengan minyak goreng biasa, karena VCO dihasilkan dengan tidak menambahkan bahan kimia dalam pembuatannya. VCO memiliki warna yang bening dan bau yang tidak menyengat.



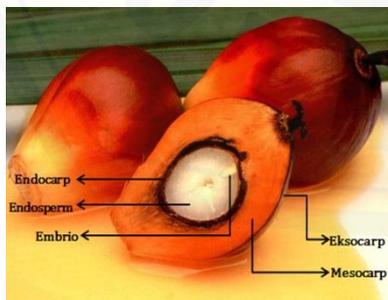
Gambar 2.2 Minyak kelapa murni

(Sumber: <http://www.tribunnews.com/>)

Proses pembuatan VCO, dimulai dari pemarkisan kelapa yang kemudian diberi air lalu diperas, sehingga menghasilkan santan. Santan tersebut kemudian disaring. Untuk kemudian diproses dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan metode sentrifugasi. Santan yang telah disaring tadi lalu dimasukkan ke dalam alat sentrifugasi, sehingga menghasilkan tiga lapisan, yaitu lapisan protein, air dan minyak. Terbentuknya tiga lapisan ini karena perbedaan berat jenis dari masing-masing komponen santan. Lapisan paling atas adalah lapisan minyak yang diinginkan atau VCO.

## 2. Minyak Kelapa Sawit (CPO)

Crude Palm Oil (CPO) merupakan hasil olahan dari daging buah kelapa sawit melalui proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS), perontokan, dan pengepresan. CPO ini diperoleh dari bagian mesokarp buah kelapa sawit yang telah mengalami beberapa proses, yaitu sterilisasi, pengepresan, dan klarifikasi.



A



B

Gambar 2.3 (a) Buah Kelapa Sawit

(b) Minyak CPO

(sumber : <http://www.merdeka.com/> )

proses pembuatan CPO, dimulai dengan mensterilkan tandan dengan memberikan steam/uap air ke dalam mesin sterilizer, setelah itu buah dipisahkan dari tandan dengan menggunakan alat pemipil (*striper*), buah yang telah dipisahkan dari tandan ini, kemudian dihancurkan, untuk selanjutnya diekstraksi dengan menggunakan alat pengempa, sehingga dihasilkanlah minyak kelapa sawit. Namun minyak ini masih banyak pengotoranya, oleh sebab itu minyak tersebut harus dilakukan penjernihan dengan cara disaring getar, untuk menghilangkan serabut, selanjutnya dipanaskan hingga suhu  $90^{\circ}$ – $100^{\circ}$ C, setelah itu baru diendapkan, sehingga dihasilkanlah minyak CPO yang baik.

### 3. Minyak Kedelai

Minyak kedelai adalah minyak yang diperoleh dari ekstraksi biji kedelai. Minyak ini memiliki warna kuning cerah serta bau yang tidak begitu menyengat, bila diproses dengan baik.



Gambar 2.4 Minyak Kedelai

(Sumber: <http://lifestyle.liputan6.com/>)

Proses pembuatan minyak kedelai dimulai dari menguliti biji kedelai, setelah itu biji dihancurkan dengan melakukan pemanasan pada suhu  $74 - 79^{\circ}$ C selama  $30 - 60$  menit, agar kulit kedelai dapat mengelupas dan butir-butir minyak dapat berkumpul, sehingga memudahkan dalam proses ekstraksi. Proses ekstraksi dilakukan dengan cara dipress menggunakan pengepress hidrolis. Minyak yang dihasilkan ini, harus dilakukan pemurnian lagi, untuk mendapatkan minyak kedelai yang baik. Pemurnian dilakukan dengan cara filtrasi untuk menghilangkan kotoran yang tidak terlarut.

### 4. Minyak Jarak

Minyak jarak tergolong kedalam minyak organik atau minyak nabati, minyak jarak merupakan dielektrik yang baik untuk kapasitor tenaga pada

tegangan tinggi karena karakteristik resistansi koronanya cukup tinggi, konstanta dielektrik tinggi, tidak beracun, titik nyalanya tinggi, titik lebur pada  $-10^{\circ}$  sampai  $-18^{\circ}$  C, dan tidak terlarut. Warna minyak kuning pucat bahkan hampir transparan (tak berwarna), dan memiliki bau khas yang cukup menyengat. Agar tidak berbau tengik minyak tidak boleh dibiarkan terbuka dalam waktu yang lama pada suhu di atas  $40^{\circ}$  C.



A



B

## Gambar 2.5 (a) Minyak Jarak

## (b) Proses pembuatan minyak jarak

(sumber: <https://azisriki09.wordpress.com/>)

Pembuatan minyak jarak yang digunakan saat ini adalah dengan metode pengepresan. Pertama biji jarak yang sudah tua, di jemur selama 3 hari hingga kulitnya akan pecah dengan sendirinya. Untuk memisahkan bagian biji dengan kulitnya digunakan alat pemisah biji, hal ini dilakukan untuk mendapatkan biji utuh yang lebih banyak. Biji yang sudah dipisahkan dari cangkangnya kemudian diberi pemanasan pendahuluan, yaitu berupa pemanasan dengan uap pada suhu  $170^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit, pemanasan dengan oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit serta pemanasan dengan penggongsengan biji sehingga biji cukup panas untuk dilakukan pengepresan. Pengepresan dilakukan dengan alat pengepres hidraulik. Daging biji yang telah dipanaskan, dimasukkan ke dalam kain saring, untuk selanjutnya dipress dalam alat pengepres hidraulik, untuk menghasilkan minyak jarak.

Biji pohon jarak mengandung 40–50% minyak jarak (oleum ricini, kastrol) yang mengandung bermacam-macam trigliserida, asam palmitat ( $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ ), asam risinoleat, asam isorisinoleat, asam oleat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ ), asam linoleat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$ ), asam linolenat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$ ), asam stearat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ ), dan asam dihidroksistearat. Juga mengandung alkaloida risinin, beberapa macam toksalbumin yang dinamakan risin (risin D, risin asam, dan risin basa), dan beberapa macam enzim diantaranya lipase.

*Castor oil* atau sering disebut juga minyak jarak, atau dalam bidang medicine sering disebut minyak kastrol, adalah minyak nabati yang diperoleh dari ekstrak biji tanaman jarak (*Ricinus communis*). Minyak yang memiliki titik didih  $313^{\circ}\text{C}$  dan densitas  $961\text{ kg/m}^3$  merupakan trigliserida yang mengandung kira-kira 90%-nya adalah rantai *fatty acid* (asam lemak) “*ricinoleic acid*”. Berikut dilampirkan struktur kimia dari *Castor oil* dan komposisi minyak jarak.

Tabel 2.1 Kandungan asam lemak pada minyak jarak

Asam lemak	Komposisi rata-rata (%)
Ricinoleic acid	85-95
Oleic acid	2-6
Linoleic acid	1-5
Linolenic acid	0.5-1
Stearic acid	0.5-1
Palmitic acid	0.5-1
Dihydroxystearic acid	0.3-0.5
Lainnya	0.2-0.5

Minyak jarak, atau dalam bidang medicine sering disebut minyak kastrol, adalah minyak nabati yang diperoleh dari ekstrak biji tanaman jarak (*Ricinus communis*). Minyak yang memiliki titik didih  $313^{\circ}\text{C}$  dan densitas  $961\text{ kg/m}^3$  merupakan trigliserida yang mengandung kira-kira 90%-nya adalah rantai *fatty acid* (asam lemak) "*ricinoleic acid*". Berikut dilampirkan sifat fisika kimia dari minyak jarak.

Tabel 2.2 Sifat fisika kimia pada minyak jarak

Karakteristik	Nilai
Viskositas ( <i>gardner-hold</i> ),	$25^{\circ}\text{C}$ u-v (6.3-8.8 st)
Bobot Jenis	$20/20^{\circ}\text{C}$ 0.957 – 0.963
Bilangan Asam	0.4 – 4.0
Bilangan Penyabunan	176 – 181
Bilangan tak Tersabun	0.7
Bilangan Iod ( <i>Wijs</i> )	82 – 88
Warna ( <i>appearance</i> )	Bening
Warna Gardner (max)	Tidak lebih gelap dari 3'
Indeks Bias	1,477 – 1,478
Kelarutan dalam alkohol	( $20^{\circ}\text{C}$ ) Jernih (tidak keruh)
Bilangan asetil	145 – 154
Titik Nyala ( <i>tag close cup</i> )	$230^{\circ}\text{C}$

Titik Nyala ( <i>cleveland open cup</i> )	285° C
<i>Antoignition temperature</i>	449° C
Titik Api	322° C
Titik Didih	Dec
Putaran optik,	200 mm +7, 5 + 9,0
Koefisien Muai per° C	0,00066
<i>Pour Point</i>	-33° C
Tegangan Permukaan pada 20°	C 39,9 dyne/cm

---

(Sumber : Bailey (1950) di dalam Ketaren (1986))

## 2.7 Proses Destilasi

Destilasi merupakan teknik pemisahan yang didasari atas perbedaan-perbedaan titik didik atau titik cair dari masing-masing zat penyusun dari campuran homogen. Dalam proses destilasi terdapat dua tahap proses yaitu tahap penguapan dan dilanjutkan dengan tahap pengembangan kembali uap menjadi cair atau padatan. Atas dasar ini maka perangkat peralatan destilasi menggunakan alat pemanas dan alat pendingin.

Proses destilasi diawali dengan pemanasan, sehingga zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap. Uap tersebut bergerak menuju kondenser yaitu pendingin, proses pendinginan terjadi karena kita mengalirkan air kedalam dinding (bagian luar condenser), sehingga uap yang dihasilkan akan kembali cair. Proses ini berjalan terus menerus dan akhirnya kita dapat memisahkan seluruh senyawa-senyawa yang ada dalam campuran homogen tersebut.

Macam-macam destilasi yaitu :

### 1. Destilasi Sederhana

Prinsipnya memisahkan dua atau lebih komponen cairan berdasarkan perbedaan titik didih yang jauh berbeda.

### 2. Destilasi Fraksionasi (Bertingkat)

Sama prinsipnya dengan destilasi sederhana, hanya destilasi bertingkat ini memiliki rangkaian alat kondensor yang lebih baik, sehingga mampu

memisahkan dua komponen yang memiliki perbedaan titik didih yang berdekatan. Untuk memisahkan dua jenis cairan yang sama-sama mudah menguap dapat dilakukan dengan destilasi bertingkat. Destilasi bertingkat sebenarnya adalah suatu proses destilasi berulang. Proses berulang ini terjadi pada kolom fraksional. Kolom fraksional terdiri atas beberapa plat dimana pada setiap plat terjadi pengembunan. Uap yang naik plat yang lebih tinggi lebih banyak mengandung cairan yang lebih atsiri (mudah menguap) sedangkan cairan yang kurang atsiri lebih banyak dalam kondensat.

### 3. Destilasi Kering

Memanaskan material padat untuk mendapatkan fasa uap dan cairnya. Biasanya digunakan untuk mengambil cairan bahan bakar dari kayu atau batu bata.

### 4. Destilasi Vakum

Memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi, metode yang digunakan adalah dengan menurunkan tekanan permukaan lebih rendah dari 1 atm, sehingga titik didihnya juga menjadi rendah, dalam prosesnya suhu yang digunakan untuk mendestilasinya tidak perlu terlalu tinggi. Prinsip dari destilasi vakum ini yaitu dengan cara menurunkan tekanan diatas permukaan cairan dengan bantuan pompa vakum, maka cairan yang didestilasi akan mudah menguap, karena cairan ini akan mendidih dibawah titik didih normalnya. Hal ini sangat menguntungkan untuk mendestilasi campuran yang senyawaan penyusunnya mudah rusak atau terurai pada titik didihnya atau untuk menguapkan campuran yang sangat pekat karena penguapannya tidak memerlukan panas yang tinggi.

## 2.8 Zat Aditif Fenol

Fenol memiliki rumus  $C_6H_5OH$ , dengan sifat fisika nya yaitu mudah terbakar, beracun, korosif, berbentuk cair. Sifat kimia dari fenol diantaranya titik beku sebesar  $42^{\circ}C$ , titik didih  $182^{\circ}C$ , berat molekul 94,11 gr/mol, berat jenis 1.057 gr/ml, dan kelarutan fenol larut dalam bensol, air dingin, dan acetone. Sifat kimia dari fenol antara lain memiliki sifat yang lebih asam dibandingkan dengan alkohol, karena anion yang dihasilkan dan distabilkan oleh resonansi dengan

muatan negatifnya disebar oleh cincin aromatik. Semakin besar struktur suatu fenol maka titik didihnya juga semakin tinggi. Fenol mengandung senyawa hidrokarbon, diantaranya senyawa aromatic, senyawa aromatic ini sebagai penghambat oksidasi dan penjaga kestabilan, tetapi jika jumlahnya terlalu banyak akan bersifat merugikan, yaitu berkurangnya nilai kekuatan dielektrik. Sebagian besar fenol terbuat dari kumena , komponen pada minyak mentah.



A



B

Gambar 2.6 (a) Larutan Fenol yang sudah dicairkan,  
(b) Fenol yang masih mengkristal

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Penelitian**

Penelitian tentang “**Studi Kekuatan Tegangan Tembus Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum Dengan Variasi Fenol**” Proses destilasi dan pengujian massa jenis dilakukan di Laboratorium Analisis Instrumen Fakultas Farmasi Universitas Jember. Pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengujian DGA dilakukan di laboratorium P.T Gelora Djaja Surabaya, sedangkan pengujian viskositas dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik Fakultas MIPA Universitas Jember.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

##### **3.2.1 Percobaan Destilasi**

Proses destilasi ini dilakukan dua kali untuk bisa mengetahui perubahan zat pada minyak jarak yang kemudian akan dibandingkan dengan zat-zat awal pada minyak jarak sebelum proses destilasi. Metode pemisahan campuran dengan teknik destilasi melewati dua proses, yaitu penguapan dan pengembunan. Jika larutan dipanaskan maka zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap, sedangkan yang lebih tinggi tidak ikut menguap. Uap disalurkan ke pipa pengembun (kondensor) dan cairan yang dihasilkan ditampung pada wadah.



Gambar 3.1 Proses Destilasi

Peralatan penting dalam destilasi yaitu :

1. Termometer

Biasanya digunakan untuk mengukur suhu uap zat yang didestilasi selama proses berlangsung. Umumnya thermometer yang digunakan harus memenuhi syarat, yaitu :

- Berskala suhu tinggi diatas titik didih zat cair yang akan didestilasi.
- Ditempatkan pada labu destilasi dengan ujung atas reservoir HE sejajar dengan pipa penyalur uap kondensor.

2. Labu didih

Berfungsi sebagai tempat suatu campuran zat cair yang akan didestilasi.

3. *Steel Head*

Berfungsi sebagai penyalur uap atau gas yang akan masuk ke kondensor dan biasanya labu destilasi dengan leher berfungsi sebagai *steel head*.

4. Kondensor

Memiliki dua celah, yaitu celah masuk dan celah keluar yang berfungsi untuk aliran air kran. Pendingin yang biasa digunakan adalah air yang dialirkan dari dasar pipa, tujuannya adalah agar bagian dari dalam pipa lebih lama mengalami kontak dengan air, sehingga pendinginan lebih sempurna.

5. Labu penampung destilat

Selain labu bias juga digunakan erlenmeyer, ataupun tabung reaksi tergantung pemakaiannya.

6. Penangas

Berfungsi untuk pemanasan, bisa juga digunakan mantel listrik yang biasanya sudah terpasang pada desikator. Dipenelitian ini penangas yang digunakan adalah kompor listrik.

### 3.2.2 Pengujian Massa Jenis

Pengujian massa jenis di peruntukkan untuk mengetahui berapa besar massa jenis pada minyak jarak sebagai alternatif isolasi cair. Massa jenis minyak isolasi transformator harus lebih kecil dari massa jenis air.



a. Timbangan Analitik



b. Piknometer

Gambar 3.2 Alat uji massa jenis

Peralatan penting dalam pengujian massa jenis adalah :

1. Timbangan Analitik

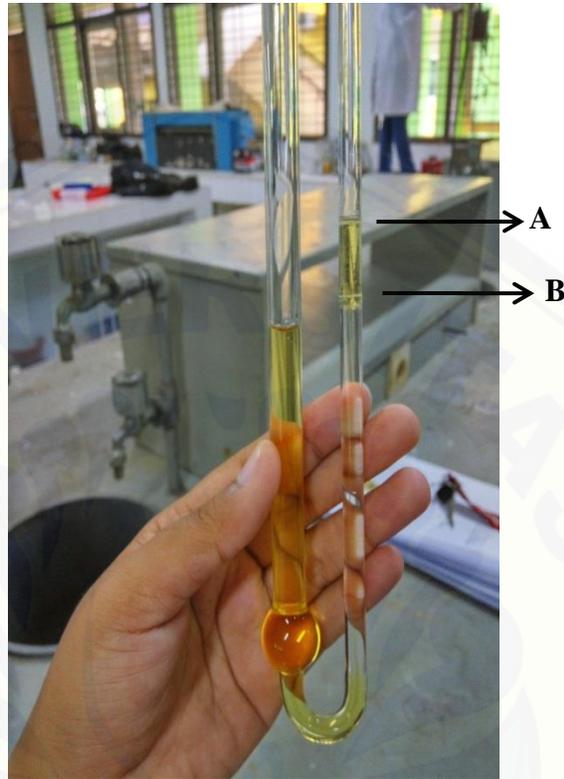
Timbangan ini digunakan untuk menimbang gelas ukur (glass breker) yang nantinya akan di isi dengan minyak jarak.

2. Piknometer

Piknometer digunakan untuk wadah minyak jarak yang sudah disertai termometer untuk mengukur suhu uji.

### 3.2.3 Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak untuk bersirkulasi dalam transformator. Minyak transformator mempunyai unsur kekentalan dimana jika minyak tidak mampu bersirkulasi dengan baik maka akan berdampak tidak baik bagi transformator. Sirkulasi ini berfungsi sebagai pendingin membawa area yang panas untuk disirkulasikan sehingga dapat menjaga suhu yang ada di dalam transformator itu sendiri. Kekentalan minyak transformator dipengaruhi oleh suhu pada transformator itu sendiri, jika temperatur dingin minyak akan bersirkulasi secara lambat dan jika suhu panas maka minyak akan bersirkulasi dengan baik didalam transformator. Namun temperatur transformator tersebut memiliki batas dan ketentuan sendiri agar minyak transformator berfungsi dengan baik dan transformator tidak mengalami gangguan. Viskositas juga dapat dipengaruhi oleh kontaminan yang terkandung di dalam minyak transformator seperti kadar air dan sedimen/ partikel-partikel endapan kotoran. Berikut ini alat uji viskositas yang digunakan dalam pengujian minyak jarak:



Gambar 3.3 Viskometer Ostwald

Peralatan penting dalam pengujian viskositas adalah :

1. Viskometer Ostwald SCHOTT Type 50903

Viskometer digunakan untuk mengukur viskositas. Setelah alat dinyalakan, secara otomatis spindel yang telah tercelup dalam gelas ukur yang telah terisi minyak jarak. Digunakan nomor spindel 5 karena bahan berbentuk minyak.

2. Gelas Ukur

Gelas ukur ini sebagai wadah minyak jarak.

3. Termometer

Digunakan untuk mengukur suhu minyak jarak pada saat pengujian.

4. Stopwatch

Untuk menghitung waktu lama laju cairan

### 3.2.4 Pengujian Tegangan Tembus

Peralatan yang digunakan pada saat pengujian tegangan tembus yaitu :

- a. Satu set peralatan pembangkit tegangan tinggi AC, digunakan untuk mengukur tegangan tembus.



Gambar 3.4 Peralatan Uji Tegangan Tembus

- b. Minyak jarak yang telah dilakukan destilasi, sebagai bahan isolasi cair
- c. Elektroda yang digunakan untuk pengujian ini yaitu elektroda seragam berbentuk setengah bola (disesuaikan standart IEC 156) elektroda ini terbuat dari bahan alumunium. Jarak elektroda pada saat pengujian adalah 2,5mm, menurut

standarisasi SPLN 49-1 tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $>30 \text{ kV}/2.5 \text{ mm}$

- d. Kotak uji, kotak uji sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang dan keseluruhan ruang yang ditutupi oleh lapisan permukaan sebagai pembatas sistem. Kotak uji terbuat dari bahan plastik *acrylic* dengan ketebalan 5 mm.
- e. Jangka sorong dan penggaris, digunakan untuk mengukur jarak sela antar elektroda dan mengukur besar elektroda.

### 3.2.5 Pengujian GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectroscopy*)

Gas gas yang telah terurai akan dideteksi oleh detektor berupa sinyal. Sinyal ini lah yang nantinya digunakan untuk mengetahui jumlah kadar gas dengan memperhitungkan luas sinyal tiap tiap gas. Pengujian ini mengacu pada standar IEC 74 104.1991.



Gambar 3.5 Peralatan Uji GCMS

Dalam penelitian ini digunakan analisa GC-MS untuk menganalisa dan mengidentifikasi kandungan gas yang terdapat pada minyak jarak sebelum dan setelah penambahan fenol. GC-MS yang digunakan adalah Agilent 19091S-436 HP-5MS.

Alat yang digunakan untuk menguji kadar air adalah :

*a. Syringe*

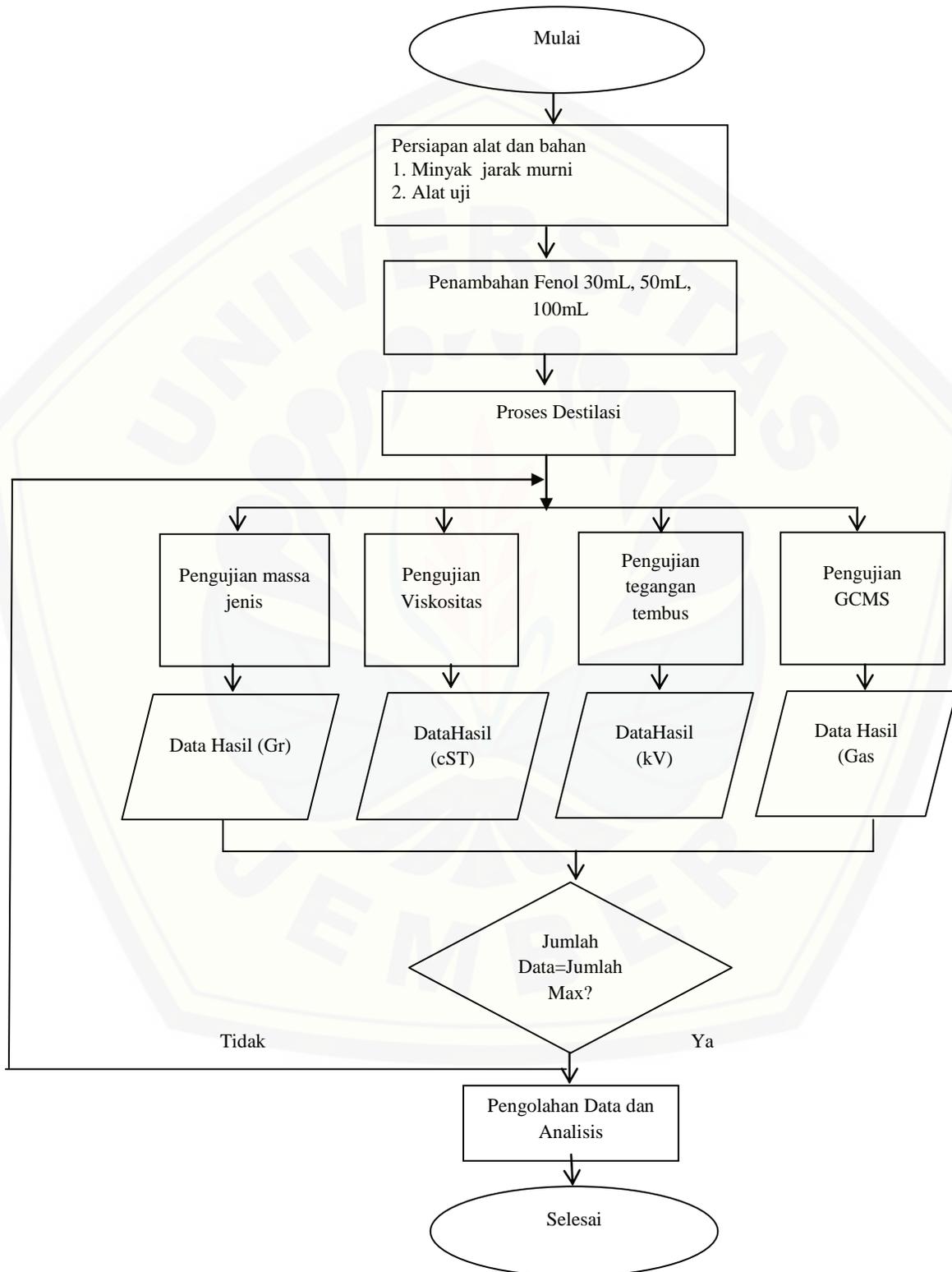
Digunakan untuk menampung minyak yang akan di uji. Diinjeksikan ke dalam extractor stipper di bagian penampungan bahan uji melalui septum.

*b. Extractor stipper*

Merupakan alat uji DGA yang akan digunakan, merk Align dengan type column-5. Berprinsip membaca sinyal-sinyal hasil pengujian minyak. Pada extractor stipper terdiri dari kolom, sumber ion, *filtering*, dan detektor. Pada proses kolom molekul akan berkondensasi pada fase diam, setelah itu masuk pada proses sumber ion dimana pada proses ini elektron memecah ion-ion positifnya pada molekul. Pada proses *filtering*, ion-ion yang masuk akan melalui rangkaian elektromagnetik yang menyaring ion-ion berdasarkan perbedaan massa. Setelah proses *filtering*, ion-ion yang tersaring akan menuju detektor yang nantinya data-data gas atau zat yang terkandung disajikan dalam grafik hubungan antara waktu retensi ( $R_t$ ) dan % area.  $R_t$  adalah waktu yang menunjukkan lamanya senyawa melalui proses-proses tersebut hingga sampai ke detektor. Sedangkan % area yakni perbandingan dengan gas atau zat lain yang tertera pada hasil.

### 3.3 Metode penelitian

Berikut alur penelitian yang digunakan pada penelitian ini, sebelum dimulai pengujian terlebih dahulu dilakukan proses destilasi pada minyak jarak yang dilakukan pada suhu  $80^0$  dengan cara memasukkan minyak yang akan didestilasi didalam labu didih sesuai dengan batas maksimum, setelah itu pasang kondesor dan pompa vakum beserta alat destilasinya. sebelum didestilasi di tambahkan variasi fenol yang akan diujikan.



### 1. Pengujian di Laboratorium

Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data – data mengenai tegangan tembus, viskositas, massa jenis dan gas, sebelum dan sesudah penambahan variasi fenol.

## 3.4 Prosedur Pengujian

### 1. Prosedur Pengujian Tegangan Tembus

Prosedur pengujian yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengujian tegangan tembus isolasi cair menurut IEC 156 antara lain :

#### a. Persiapan Sampling

Persiapkan minyak jarak sebelum dan sesudah proses distilasi sebagai bahan isolasi cair yang akan diuji.

#### b. Pengisian Kotak Uji

Sebelum melakukan pengujian, bersihkan kotak uji, dinding-dindingnya, elektroda, dan komponen lainnya. Kemudian tuang kedalam kotak uji secara perlahan dan hindari terjadinya gelembung-gelembung udara.

#### c. Pemberian Tegangan

Berikan tegangan pada elektroda dengan kenaikan yang seragam (konstan) dimulai dari 0 V sampai sekitar 2,0 kV s<sup>-1</sup> +/- 0.2 kV s<sup>-1</sup> sampai timbul tegangan tembus.

#### d. Pencatatan data

Lakukan 6 kali percobaan tembus pada kotak uji yang sama dengan jeda sekurang-kurangnya 2 menit dari setiap pengujian baru kemudian diulang kembali. Pastikan tidak muncul gelembung udara diantara jarak sela. Di uji pada suhu 70°C s/d 100°C karena pada suhu tersebut transformator daya bekerja normal.

## 2. Prosedur pengujian massa jenis

- a. Timbanglah gelas ukur pada timbangan massa, lalu nyatakan hasilnya sebagai  $m_1$ ,
- b. Isilah gelas ukur tersebut dengan minyak jarak sampai volume tertentu ( $v$ ),
- c. Ukurlah masa gelas ukur yang berisi minyak jarak tersebut menggunakan timbangan massa lalu nyatakan hasilnya sebagai  $m_2$ ,
- d. Hitunglah massa minyak jarak dari selisih  $m_2$  dan  $m_1$ ,
- e. Hitunglah massa minyak jarak ( $\rho$ )

## 3. Prosedur Pengujian Viskositas

- a. Masukkan minyak dalam viskometer
- b. Pasang *ball filler* pada ujung viskomter tempat laju aliran
- c. Keluarkan oksigen pada *ball filler* dengan cara menekan pada titik A di ball filler
- d. Tekan titik S pada *ball filler* agar minyak laju melewati batas atas viskometer
- e. Nyalakan stopwatch saat aliran mulai menurun dari batas atas sampai batas bawah viskometer.
- f. Mencatat angka dan hitung menggunakan rumus.

## 4. Prosedur Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

- a. Sample preparation
- b. Derivatisation
- c. Injeksi

Menginjeksikan campuran larutan ke kolom GC lewat heated injection port. GC/MS kurang cocok untuk analisa senyawa labil pada suhu tinggi karena akan terdekomposisi pada awal pemisahan.

- d. GC separation

Campuran dibawa gas pembawa (biasanya Helium) dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang dipanaskan dalam pemanas. Kolom GC memiliki cairan pelapis (fasa diam) yang inert.

e. MS detector

Aspek kualitatif : lebih dari 275.000 spektra massa dari senyawa yang tidak diketahui dapat teridentifikasi dengan referensi komputerisasi.

Aspek kuantitatif : dengan membandingkan kurva standar dari senyawa yang diketahui dapat diketahui kuantitas dari senyawa yang tidak diketahui.

f. *Scanning*

Spektra massa dicatat secara reguler dalam interval 0,5-1 detik selama pemisahan GC dan disimpan dalam sistem instrumen data untuk digunakan dalam analisis. Spektra massa berupa fingerprint ini dapat dibandingkan dengan acuan.

Pemisahan komponen senyawa dalam GC-MS terjadi didalam kolom (kapiler) GC dengan melibatkan dua fase , yaitu fase diam dan fase gerak. Fase diam adalah zat yang ada didalam kolom, sedangkan fasa gerak adalah gas pembawa ( helium maupun hidrogen dengan kemurnian tinggi, yaitu 99,995%). Proses pemisahan dapat terjadi karena terdapat perbedaan kecepatan alir dari tiap molekul didalam kolom. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan afinitas antar molekul dengan fase diam yang ada didalam kolom. Selanjutnya komponen komponen yang telah dipisahkan tersebut masuk kedalam ruang MS yang berfungsi sebagai detektor secara instrumentasi, MS adalah detektor bagi GC.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil uji dan data karakteristik minyak jarak yang telah didapatkan, dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses destilasi dengan penambahan zat aditif fenol menghasilkan 4 macam warna minyak, semakin besar penambahan fenol maka warna minyak jarak semakin gelap.
2. Pengaruh larutan fenol terhadap:
  - a. Viskositas minyak jarak saat ditambahkan fenol sebesar 100 ml bernilai 7,795 hal ini menandakan bahwa semakin rendah nilai viskositas maka semakin baik untuk isolasi transformator
  - b. massa jenis semakin besar penambahan fenol maka massa jenis semakin besar, saat minyak jarak fenol 30 ml massa jenis  $0,9012\text{gr/cm}^3$  sedangkan fenol 100 ml  $0,9249\text{ gr/cm}^3$ .
  - c. Penambahan fenol sebesar 50 ml nilai tegangan tembus pada suhu operasi transformator  $100^{\circ}\text{C}$  sebesar 25 kV, sedangkan pada penambahan fenol sebesar 100 ml nilai tegangan tembus pada suhu operasi transformator  $100^{\circ}\text{C}$  sebesar 33,33 kV.
  - d. Hasil dari uji GC-MS minyak jarak dengan variasi fenol didapat senyawa yang paling mendominan yaitu asam linoleat sebesar 80% dan dengan bertambahnya larutan fenol maka semakin berkurangnya senyawa yang ada pada minyak jarak tersebut.
3. Berdasarkan data yang di dapat, minyak jarak dari segi pengujian tegangan tembus dapat dijadikan alternatif minyak isolasi transformator, hal ini dikarenakan nilai tegangan tembus semakin tinggi saat suhu operasi isolasi transformator semakin tinggi.

### 5.2 Saran

Penelitian pada minyak jarak dilakukan pengujian nilai tegangan tembus, viskositas, massa jenis dan gas terhadap variasi fenol. Berkaitan dengan

hasil penelitian maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik minyak baik karakteristik fisik maupun karakteristik kimia, perlunya peralatan pendukung dari laboratorium untuk pengujian yang selama pengambilan data dilakukan dengan peralatan manual.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdul, “*Karakteristik Tegangan Gagal Bahan Isolasi Minyak Shell Diala B*”
- Anang, “*Uji Tegangan Tembus Minyak Jarak Sebelum dan Sesudah Proses Destilasi Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya*” Universitas Jember, Jember: 2012
- Antonius ,Bambang, Herry, “*Peningkatan Yield Biodisel Dari Minyak Biji Nyamplung Melalui Transesterifikasi Dua Tahap*” Universitas Diponegoro, Semarang: 2013
- Arya Jayeng Rana, “*Pengaruh Viskositas Berbagai Minyak Sawit Untuk Oli Peredam Shock Absorber Sepeda Motor*” Universitas Andalas, Padang: 2015
- Ayu, “*Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektrode Dan Temperatur*” Universitas Diponegoro, Semarang:2009
- Budiyantoro, Eko, “*Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji*” Universitas Diponegoro, Semarang : 2010
- Dedy,K.S, “*Studi Pengaruh Temperatur terhadap Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator Jenis Shell Diala B*” Institut Teknologi Bandung, Bandung: 2004
- Hanung, “*Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum – Bidang*” Universitas diponegoro, Semarang
- Irwan , “*Studi Pengaruh Penuaan (Aging) Terhadap Laju Degradasi Kualitas Minyak Isolasi Transformator Tenaga*” Universitas Diponegoro, Semarang
- Iwa, Jonathan, “*Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*” Universitas Indonesia, Depok

- Kurrahman, “*Studi tegangan tembus minyak kemiri sunan Sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya*” Universitas Trisakti, Jakarta:2010
- Marsudi, Djiteng, 2011. “*Pembangkitan Energi Listrik*”. Erlangga
- Pratama, “*Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Minyak Atsiri Dari Tumbuhan Sembukan (Paederia Foetida L.) Dengan Metode Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (Gc-Ms)*” Universitas Udayana, Bali: 2016
- Priyanto, “*Analisa Aliran Fluida Pada Pipa Acrylic Diameter 12,7 Mm (0,5 Inchi) Dan 38,1 Mm (1,5 Inchi)*” Universitas Gunadarma, Jakarta
- PT PLN (Persero), “*Transformator Tenaga*”.
- Rahmaningtyas, “*Identifikasi Senyawa Dalam Ekstrak Etanol Dan Fraksi Etil Asetat Daun Sisik Naga (Drymoglossum Piloselloides) Dengan Gc-Ms Dan Uji Aktivitas Antibakteri*” Universitas Pakuan Bogor, Bogor
- Rina, “*Uji Antioksidan Dan Antibakteri Ekstrak Air Daun Kecombrang (Etlingera Elatior (Jack) R.M. Smith) Sebagai Pengawet Alami Terhadap Escherichia Coli Dan Staphylococcus Aureus*” Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta: 2010
- Sekar Puji Utami, “*Formulasi Sediaan Krim Tipe M/A Dari Minyak Atsiri (Pogostemon Cablin B.) Dan Uji Aktivitas Repelan*” Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta: 2015
- Sepannur, “*Karakteristik Listrik Dan Kimia Minyak Transformator Dengan Berbagai Tingkat Warna Pada Kondisi Tropis*” Institut Teknologi Padang, Padang: 2015
- Shinta , Respatiningsih, “*Karakteristik Fisika Kimia Formulasi Minyak Lumas Trafo Inhibited*” Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS” , Jakarta Selatan: 2015
- Sutiah, Firdausi, Wahyu , “*Studi Kualitas Minyak Goreng Dengan Parameter Viskositas Dan Indeks Bias*” Universitas Diponegoro, Semarang: 2008

- Taufik, Harief, "*Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya*" Universitas Trisakti , Jakarta: 2010
- Wibowo, "*Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 300c-1300c*" Universitas diponegoro, Semarang: 2008



LAMPIRAN

**A. Perhitungan Massa Jenis**

Rumus massa jenis:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massa piknometer 34,7180 gr

Massa kertas 0,1501 gr

- Minyak jarak tidak di destilasi :

Massa piknometer berisi minyak : 57,403 g  
rr

$$\rho = \frac{\text{massa piknomter berisi minyak} - \text{massa piknometer kosong} - \text{massa kertas}}{\text{volume piknometer}}$$

$$= \frac{57,403 - 34,718 - 0,1501}{24,716}$$

$$= 0,911 \text{ gr/mL}$$

- Minyak jarak dengan variasi fenol 30 ml :

Massa piknometer berisi minyak : 57,3648 g  
r -

$$\rho = \frac{\text{massa piknomter berisi minyak} - \text{massa piknometer kosong} - \text{massa kertas}}{\text{volume piknometer}}$$

$$= \frac{57,3648 - 34,7180 - 0,1501}{24,716}$$

$$= 0,9102 \text{ gr/mL}$$

- Minyak jarak dengan variasi fenol 50 ml:

Massa piknometer berisi minyak : 57,5128 g

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\text{massa piknomter berisi minyak} - \text{massa piknometer kosong} - \text{massa kertas}}{\text{volume piknometer}} \\ &= \frac{57,5128 - 34,7180 - 0,1501}{24,716} \\ &= 0,9161 \text{ gr/mL}\end{aligned}$$

- Minyak jarak dengan variasi fenol 100 ml:

Massa piknometer berisi minyak : 57,7290 gr

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\text{massa piknomter berisi minyak} - \text{massa piknometer kosong} - \text{massa kertas}}{\text{volume piknometer}} \\ &= \frac{57,7290 - 34,7180 - 0,1501}{24,716} \\ &= 0,9249 \text{ gr/mL}\end{aligned}$$

## B. Perhitungan Viskositas

Rumus viskositas kinematik:

$$V = \frac{\mu}{\rho}$$

Dengan :

$$\mu = \frac{\pi Pr^4 t}{Vl} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Volume cairan yang mengalir : 2983 mm<sup>3</sup>

Tinggi viskometer : 225 mm

Tekanan : 1 atm

Jari-jari : 8 mm

- Viskositas minyak tidak di destilasi:

Waktu laju alir : 946 sekon

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 8,8 \cdot 8,8 \cdot 946}{2983 \cdot 225} \quad V = \frac{18,128}{0,911}$$
$$= 18,128 \text{ cSt} \quad = 19,89 \text{ cSt}$$

- Viskositas minyak yang ditambahkan fenol 30 ml:

Waktu laju alir : 689 sekon

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 8,8 \cdot 8,8 \cdot 689}{2983 \cdot 225} \quad V = \frac{11,29}{0,9102}$$
$$= 11,29 \text{ cSt} \quad = 12,527 \text{ cSt}$$

- Viskositas minyak yang ditambahkan fenol 50 ml:

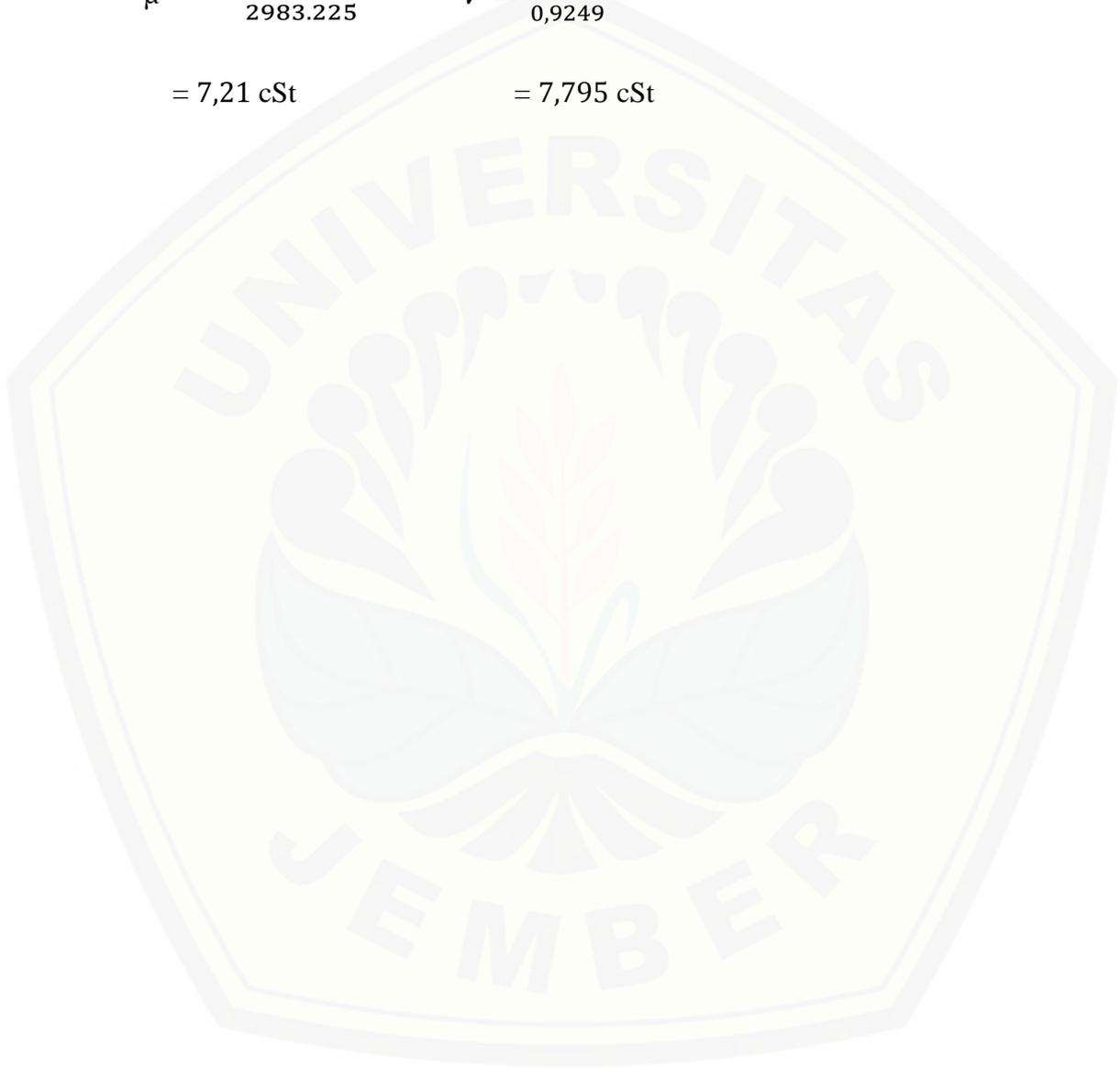
Waktu laju alir : 573 sekon

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 8,8 \cdot 8,8 \cdot 573}{2983 \cdot 225} \quad V = \frac{9,33}{0,9161}$$
$$= 9,33 \text{ cSt} \quad = 10,184 \text{ cSt}$$

- Viskositas minyak yang ditambahkan fenol 100 ml:

Waktu laju alir : 441 sekon

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 8,8 \cdot 8,441}{2983,225} \quad V = \frac{7,21}{0,9249}$$
$$= 7,21 \text{ cSt} \quad = 7,795 \text{ cSt}$$



Lampiran Proses Pengujian



