



**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK KEMIRI SUNAN
SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI MINYAK
TRANSFORMATOR DAYA DENGAN
PENAMBAHAN ADITIF FENOL**

SKRIPSI

Oleh

**Fajriyansa Perdana
NIM 131910201106**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK KEMIRI SUNAN
SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI MINYAK
TRANSFORMATOR DAYA DENGAN
PENAMBAHAN ADITIF 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

**Fajriyansa Perdana
NIM 131910201106**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan mengharap Ridho dan Allah SWT. Tidak lupa rasa syukur kepada Yang Maha Kuasa saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya dalam menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa junjungan Nabi besar Muhammad SAW. yang telah membimbing dari jalan yang gelap gulita menuju jalan yang terang benderang.
2. Bapak Syamsu Wijaya, A. ptnh., dan Ibu Suryani Agus Wahyuti, S.H., yang telah membantu proses pengerjaan skripsi baik berupa materi maupun jasmani serta semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Adik-adikku Dwiki Apriyansa dan Novan Triyansa Ramadhan yang selalu menghibur saat penulis dalam kesusahan.
4. Dosen Pembimbing Utama Bapak Suprihadi Prasetyono, serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Bambang Sujanarko atas arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak hingga sampai perguruan tinggi
6. Sahabatku yang paling nyebelin Lucinda Sekar Hutami
7. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTO

“Man Shabara Zhafira”

Siapa Yang Bersabar Akan Beruntung¹⁾

(Ahmad Fuadi)

Kebanyakan orang sukses merasa itu adalah hasil jerih payah sendiri, tanpa campur tangan “TUHAN” Mengingat TUHAN adalah sebagai ibadah vertikal dan menolong sesama ibadah horizontal²⁾

(Bob Sadino)

Hidup harus terus berlanjut, tidak peduli seberapa menyakitkan atau membahagiakan, biar waktu yang menjadi obat³⁾

(Tere Liye)

¹ Ahmad Fuadi. 2009. Negeri 5 Menara. Jakarta: Gramedia

² Bob Sadino. 2015. Pengusaha Indonesia. Kata-kata Inspiratif

³ Tere Liye. 2011. Ayahku (Bukan) Pembohong. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fajriyansa Perdana

NIM : 131910201106

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya Dengan Penambahan Aditif 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 atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 24 Mei 2017

Yang menyatakan,

Fajriyansa Perdana

NIM 131910201106

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK KEMIRI SUNAN
SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI MINYAK
TRANSFORMATOR DAYA DENGAN
PENAMBAHAN ADITIF FENOL**

Oleh

Fajriyansa Perdana
NIM 131910201106

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Studi Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya Dengan Penambahan Aditif Fenol” karya Fajriyansa Perdana telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 24 Mei 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Studi Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya Dengan Penambahan Aditif Fenol; Fajriyansa Perdana; 131910201106; 2017; 73 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam sistem jaringan tenaga listrik isolasi merupakan salah satu komponen yang perannya tidak dapat dipisahkan, isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian bertegangan dan yang tidak bertegangan sehingga tidak terjadi percikan maupun lompatan api menurut hukum paschen, isolasi cair memiliki 1000 kali lebih baik kekuatan dielektriknya dari isolasi gas maupun padat. Minyak isolasi transformator mempunyai dua fungsi utama yaitu sebagai media isolasi dan sebagai pendingin. Namun bahan baku untuk membuat isolasi transformator sebagian besar masih mengandalkan minyak bumi serta bahan-bahan tambang seperti ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom, dan perak (Djiteng, 2011) sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan selain itu minyak bumi juga merupakan energi fosil yang tidak dapat diperbarui sehingga jika terus-menerus digunakan ketersediaannya mengalami kelangkaan.

Maka diperlukan alternatif pengganti minyak transformator dengan memanfaatkan tumbuh-tumbuhan untuk menghasilkan minyak nabati yang ramah lingkungan Penelitian tentang minyak nabati sebagai alternatif pengganti transformator daya pada peneliti sebelumnya yang pernah dilakukan oleh (Kurrahman, 2016) minyak nabati alternatif yang dipergunakan berupa minyak kemiri sunan, dengan hasil uji tegangan tembus 17.55 kV/2,5 mm pada jarak sela 2.5 mm hasil dari penelitian ini masih jauh dibawah standart yang telah ditetapkan SPLN 49-1 yaitu sebesar ≥ 30 kV/2.5 mm. Peneliti menyarankan untuk menambahkan sebuah zat katalis aditif untuk meningkatkan tegangan tembusnya yaitu aditif fenol. Kadar fenol yang ditambahkan antara lain 25 ml, 50 ml, 75 ml dan 100 ml yang didasarkan pada (Adibah, 2016) dan (Supriyanto, 2007) selain

sifat elektrik tegangan tembus yang akan diteliti, ada 3 sifat fisika yang diuji dalam penelitian ini antara lain massa jenis, viskositas kinematik dan kejernihan.

Pengujian viskositas kinematik dilakukan pada suhu 20° C, Nilai viskositas minyak kemiri sunan murni sebesar 5,204890819 cSt ketika ditambahkan fenol 25 ml turun menjadi 5,125225144 cSt, saat ditambah fenol sebesar 50 ml nilai viskositanya sebesar 5,055730339 cSt, penambahan fenol 75 ml yaitu sebesar 4,975463997 cSt dan penambahan fenol 100 ml nilainya sebesar 4,851001981 ini berarti fenol mampu memperbaiki karakteristik viskositas minyak dan membuat sirkulasi aliran minyak lebih lancar. Penambahan fenol terhadap minyak kemiri sunan mempengaruhi karakteristiknya terutama pada massa jenisnya hal ini bisa dilihat ketika massa jenis kemiri sunan murni yaitu sebesar 0,874390667 gram/cm³ setelah ditambahkan fenol massa jenisnya mengalami kenaikan, saat penambahan fenol 25 ml sebesar 0,878634667 gram/cm³, saat penambahan fenol 50 ml sebesar 0,881237333 gram/cm³, penambahan fenol 75 ml sebesar 0,885821333 gram/cm³ dan 0,8888 gram/cm³ ketika penambahan fenol 100 ml.

Untuk hasil uji kejernihan dengan penambahan fenol maupun tidak, sama sekali tidak menimbulkan efek apapun terhadap minyak kemiri sunan, nilai kejernihannya sebesar 0,5. ketika minyak kemiri sunan ditambahkan aditif fenol sebanyak 100 ml memiliki tegangan tembus paling baik diantara sampel lainnya, tegangan tembusnya antara lain 24,5 kV/2,5 mm pada suhu 30° C, 27,5 kV/2,5 mm pada suhu 70° C, 28,33 kV/2,5 mm pada suhu 80° C, 29 kV/2,5 mm pada suhu 90° C dan 31 kV/2,5 mm ketika suhu minyak sebesar 100° C Tegangan tembus dengan penambahan fenol lebih baik jika dibandingkan dengan minyak murni yang hanya sebesar 12,83333 kV/2,5 mm pada suhu 30° C, 21 kV/2,5 mm pada suhu uji 70° C 21,16667 kV/2,5 mm saat suhu uji 80° C, 22,16667 kV/2,5 mm suhu uji 90° C, 23,5 kV/2,5 mm pada suhu uji 100° C. Penambahan aditif fenol mempengaruhi 98,64% perubahan nilai viskositas kinematiknya, 99,41% perubahan nilai karakteristik massa jenisnya, dan 95,09% pengaruh perubahan terhadap sifat elektik tegangan tembusnya dan penambahan aditif fenol tidak merubah sama sekali kejernihan minyak kemiri sunan.

SUMMARY

Study of Characteristic *Reutealis trisperma* Oil as Alternative Replacement Power Transformer Oil with Addition of Additives Phenol; Fajriyansa Perdana; 131910201106; 2017; 73 pages; Department of Electrical Engineering, the Faculty of Engineering, Jember University.

In the electric power network isolation system is one component of that role can not be separated, the main insulation to separate the part of high voltage and not, till not occurred sparkover and flashover. The law of Paschen liquid insulation had one thousand dielectric strength better air. The insulating oil of the transformer has two main functions ie as the isolation medium and as the coolant. However, the raw material for the isolation of transformers is still largely dependent on oil and mining materials such as tar, sulfur, iron, copper, aluminum, titanium, tin, magnesium, chromium and silver (Djiteng, 2011) Environmental damage in addition to petroleum is also a fossil energy that can not be renewed so that if constantly used its availability experiencing scarcity.

It is necessary to substitute alternative transformer oil by using plants to produce environmentally friendly vegetable oil. Research on vegetable oil as an alternative to power transformers at previous researchers ever conducted by (Kurrahman, 2016) alternative vegetable oils used *Reutealis trisperma* oil, with test breakdown voltage results of 17.55 kV / 2.5 mm at a distance of 2.5 mm results from. This research is still far below the standard that has been set SPLN 49-1: 1982 that to ≥ 30 kV/2.5 mm. The researchers suggested adding an additive catalyst to increase the breakdown voltage of the phenol additive. Levels of phenol added include 25 ml, 50 ml, 75 ml and 100 ml based on (Adibah, 2016) and (Supriyanto, 2007) besides breakdown voltage investigated, there are 3 physical properties tested in this study between density, kinematic viscosity and color scale.

The kinematic viscosity test was performed at 20° C, the viscosity value of pure oil of 5.204890819 cSt. When added phenol 25 ml down to 5,125225144 cSt, when phenol added 50 ml viscosity value of 5.055730339 cSt, addition of 75 ml phenol that is equal to 4,975463997 cSt and addition of phenol 100 ml value equal

4,851001981 cSt. This means that the phenol is able to improve the characteristics of the oil viscosity and makes the oil flow more smoothly circulation. The addition of phenol to *Reutealis trisperma* oil affects its characteristic, especially in its density, which can be seen when pure *Reutealis trisperma* oil has been 0.874390667 gram/cm³, after added phenol density increases, when the addition of 25 ml phenol is 0.878634667 gram/cm³, When the addition of 50 ml phenol 0.881237333 gram/cm³, 75 ml phenol addition of 0.885821333 gram/cm³ and 0.8888 gram/cm³ when the addition of 100 ml phenol.

The tested of color scale with the addition of phenol or not, didn't cause any effect, result tested value was 0.5. When *Reutealis trisperma* oil was added 100 ml phenol additives had the best breakdown voltage more other samples, the breakdown voltage was 24.5 kV/2.5 mm at 30° C, 27.5 kV/2.5 mm at 70° C, 28.33 kV/2.5 mm at a temperature of 80° C, 29 kV/2.5 mm at 90° C and 31 kV/2.5 mm when the oil temperature of 100° C Breakdown voltage with phenol addition is better when compared to Pure oil of only 12.83333 kV/2.5 mm at a temperature of 30° C, 21 kV/2.5 mm at a test temperature of 70° C 21.16667 kV/2.5 mm when the test temperature is 80° C, 22.16667 kV/2.5 mm test temperature 90° C, 23.5 kV/2.5 mm at a test temperature of 100° C. The addition of phenol additive influenced 98.64% changes in kinematic viscosity value, 99.41% change in characteristic value of its density, and 95,09% effect of change to electric character of its breakdown voltage and addition of phenol additive did not change color scale of *Reutealis trisperma* oil

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Studi Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya Dengan Penambahan Aditif Fenol”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, 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 Suprihadi Prasetyo, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyempurnaan penulisan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan kritik maupun saran dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Agung Prawira Negara, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis selama menempuh studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Bapak Dr. Eng. I Made Yulistiya N., S.T., M. Sc., selaku Kepala Laboratorium Tegangan Tinggi Fakultas Teknologi Elektro Departemen Teknik Elektro serta Bapak Naryono selaku Teknisi yang telah memberikan izin tempat dan bantuan penelitian dalam penyelesaian skripsi ini;
7. Asisten-asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Fakultas Teknologi Elektro Departemen Teknik Elektro yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam proses penelitian;

8. Bapak Dwi Koko Pratoko, M. Sc., Apt., Ketua Bagian Kimia Farmasi serta Ibu Wayan selaku Teknisi Bagian Kimia Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah banyak memberikan bantuan dan masukkan dalam proses penelitian di Laboratorium tersebut;
9. Ibu Lusia Oktora RKS, S. Farm., M. Sc., Apt., selaku Ketua Laboratorium Bagian Farmasetika dan Ibu Titin selaku teknisi Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah mengizinkan melakukan penelitian dan memberikan arahan dalam proses pengambilan data penelitian;
10. Bapak Nurhadiyanto yang membantu penelitian yang dilakukan di PT. PJB Unit Pembangkit Gresik;
11. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
12. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Jember;
13. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Syamsu Wwijaya, A. ptnh., dan Ibu Suryani Agus Wahyuti, S.H., yang tiada hentinya memberikan semangat, dorongan dan bantuan materi dalam mencapai gelar Sarjana ini;
14. Adik-adikku Dwiki Apriyansa dan Novan Triyansa Ramadhan yang selalu menghibur saat penulis dalam kesusahan.
15. Rekan seperjuangan dan partner skripsi Riko Cippratama dalam mengarungi susah senangnya perjalanan panjang pengambilan data skripsi;
16. Heristo (tito) dan Budi Santoso yang telah membantu segala urusan berupa administrasi seminar proposal dan proposal penelitian penulis;
17. Saudara-saudara ku “INTEL UJ 13” yang memberi motivasi dan dukungan moril selama masa studi penulis;
18. Rekan KKN Lucinda Sekar Hutami yang memberikan dorongan dan semangat serta mau berbagi cerita suka dan dukanya hidup. Buat Lucinda pesan penulis “Jangan nangis lagi ya Tang yang sabar dalam menjalani hidup”,serta Anggraila Cerimarina yang selalu membully penulis saat menjalankan KKN.

“Maaf ya atas kesalahanku yang waktu itu, aku ga tahu kalau ada sesuatu disitu masih marah kah? Sekali lagi aku minta maaf ya”

19. Rekan Ospek Beat Arifa An Nuur yang detik-detik terakhir memberikan materi dan bantuan penjelasan dalam penyempurnaan skripsi ini;
20. Rekan-rekan KOS KANTIN 19 yang sudah lulus dan berkarir, semoga penulis dapat mengikuti jejak-jejak kesuksesan pendahulunya Aamiin.
21. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu;

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

Jember, 24 Mei 2017

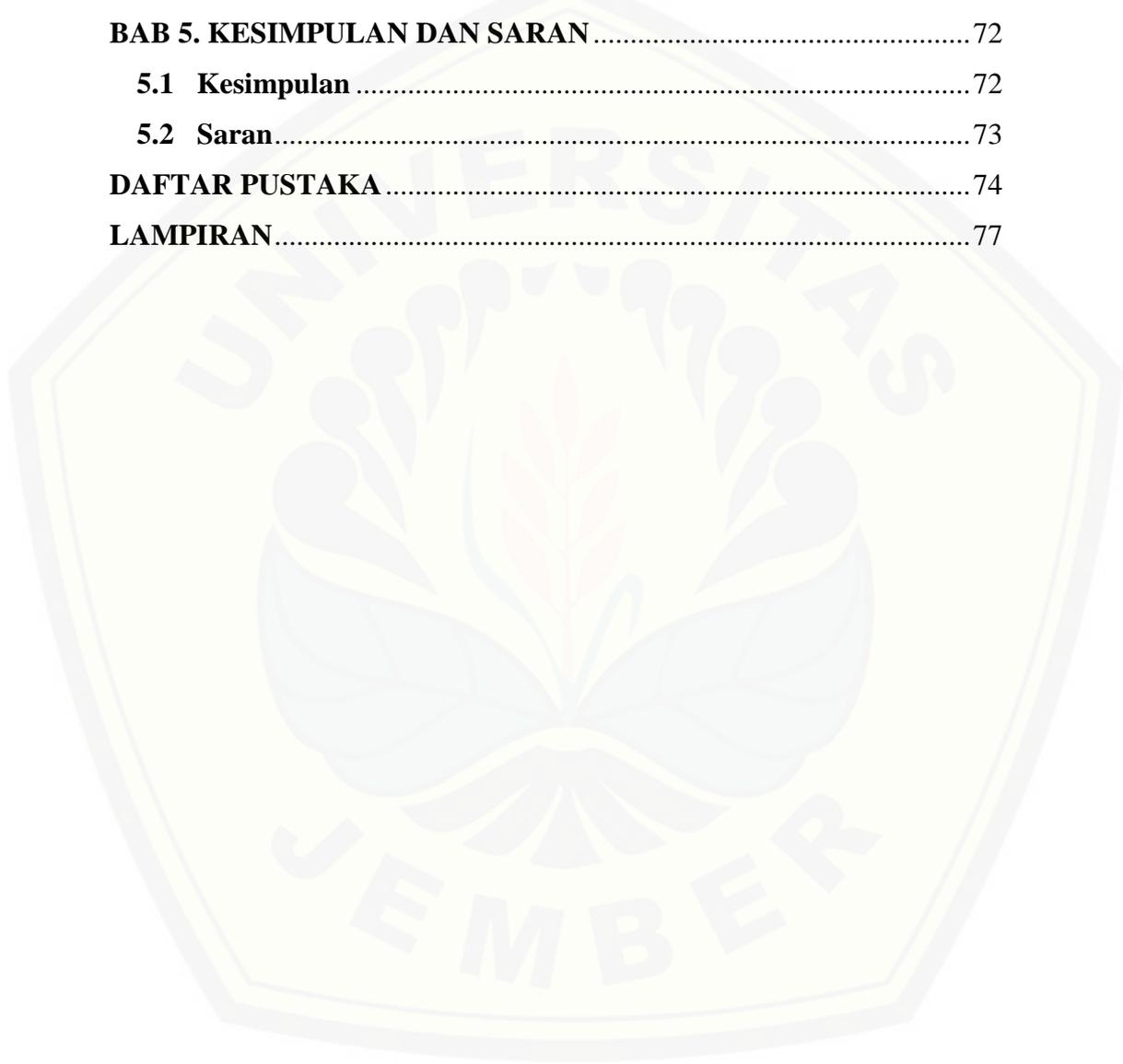
Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| PERSEMBAHAN | iii |
| MOTO | iv |
| PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN | vi |
| PENGESAHAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| SUMMARY | x |
| PRAKATA | xii |
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| DAFTAR GAMBAR | xix |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan | 4 |
| 1.5 Manfaat | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Transformator | 6 |
| 2.1.1 Macam-Macam Transformator | 7 |
| 2.1.2 Bagian-Bagian Transformator..... | 7 |
| 2.2 Minyak Isolasi Transformator | 9 |
| 2.3 Jenis-jenis Minyak Isolasi | 9 |
| 2.3.1 Zat Penyusun Minyak Transformator | 10 |
| 2.3.2 Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak..... | 14 |
| 2.3.3 Sifat-sifat Listrik Isolator Minyak..... | 16 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.3.4 | Manfaat Minyak Transformator | 17 |
| 2.4 | Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator | 17 |
| 2.5 | Standarisasi Pengujian Tegangan Tembus..... | 19 |
| 2.6 | Spesifikasi Minyak Isolasi baru Transformator | 20 |
| 2.7 | Medan Dielektrik..... | 21 |
| 2.8 | Minyak Kemiri Sunan | 22 |
| 2.8.1 | Pengeringan Biji Kemiri Sunan..... | 23 |
| 2.8.2 | Ekstraksi Minyak Kemiri Sunan | 24 |
| 2.8.3 | Karakteristik Minyak Kemiri Sunan | 27 |
| 2.9 | Zat Aditif Fenol | 29 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN..... | | 31 |
| 3.1 | Tempat dan Waktu Penelitian | 31 |
| 3.1.1 | Tempat Penelitian..... | 31 |
| 3.1.2 | Waktu Penelitian | 31 |
| 3.2 | Diagram Alir Penelitian..... | 32 |
| 3.3 | Alat dan Bahan | 34 |
| 3.4 | Penetapan Sampel | 37 |
| 3.5 | Prosedur Pengujian..... | 39 |
| 3.6 | Flowchart Pengujian | 44 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 45 |
| 4.1 | Pengujian Viskositas Kinematik | 46 |
| 4.1.1 | Hasil Pengujian Viskositas Kinematik..... | 46 |
| 4.1.2 | Hubungan Variasi Fenol dengan Nilai Viskositas Kinematik..... | 48 |
| 4.2 | Pengujian Massa Jenis | 49 |
| 4.2.1 | Hasil Pengujian Massa Jenis | 50 |
| 4.2.2 | Hubungan Massa Jenis dengan Variasi Fenol..... | 51 |
| 4.3 | Pengujian Kejernihan | 53 |
| 4.3.1 | Hasil Pengujian Kejernihan..... | 53 |
| 4.3.2 | Hubungan Variasi Fenol dengan Kejernihan | 54 |
| 4.4 | Pengujian Tegangan Tembus..... | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus..... | 56 |
| 4.4.2 Hubungan Variasi Fenol terhadap Tegangan Tembus | 58 |
| 4.4.3 Hubungan Variasi Suhu terhadap Tegangan Tembus | 60 |
| 4.5 Analisis Kelayakan Minyak Kemiri Sunan sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya | 62 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 72 |
| 5.1 Kesimpulan | 72 |
| 5.2 Saran..... | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA | 74 |
| LAMPIRAN..... | 77 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Minyak Transformator Shell Diala B..... | 9 |
| Tabel 2.2 Spesifikasi Minyak Isolasi baru Transformator | 20 |
| Tabel 2.3 Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator | 20 |
| Tabel 2.4 Analisis Proksimat Daging Biji Kemiri Sunan | 23 |
| Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak Kemiri Sunan | 28 |
| Tabel 2.6 Karakteristik Sifat Fisika dan Kimia Minyak Kemiri Sunan..... | 28 |
| Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian | 31 |
| Tabel 3.2 Pengujian Tegangan Tembus | 40 |
| Tabel 3.3 Data Karakteristik alat | 41 |
| Tabel 3.4 Data Pengujian Viskositas Kinematik Beberapa Variasi Fenol Pada Suhu 20° C | 41 |
| Tabel 3.5 Parameter Untuk Menentukan Massa Jenis | 42 |
| Tabel 3.6 Data Pengujian Massa..... | 42 |
| Tabel 3.7 Data Pengujian Massa Jenis..... | 42 |
| Tabel 3.8 Parameter Kejernihan Minyak Kemiri Sunan | 43 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Viskositas Kinematik | 46 |
| Tabel 4.2 Hasil Uji Massa Jenis..... | 50 |
| Tabel 4.3 Hasil Uji Kejernihan Minyak Kemiri Sunan..... | 53 |
| Tabel 4.4 Data Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan..... | 56 |
| Tabel 4.5 Standart Nilai Pengujian dan Hasil Uji | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Transformator Daya | 6 |
| Gambar 2.2 Bagian-Bagian Transformator..... | 7 |
| Gambar 2.3 Minyak Transformator Shell Diala B..... | 10 |
| Gambar 2.4 Elektroda Uji Tegangan Tembus Isolasi Cair | 19 |
| Gambar 2.5 Medan Dielektrik..... | 21 |
| Gambar 2.6 Bagian Buah Kemiri Sunan..... | 22 |
| Gambar 2.7 Diagram Alir Ekstraksi Minyak Kemiri Sunan | 24 |
| Gambar 2.8 Alat Pres Hidroli | 25 |
| Gambar 2.9 Alat Pres Berulir..... | 26 |
| Gambar 2.10 Teknik Ekstraksi Menggunakan Pelarut dan Teknik Pemisahan Minyak | 27 |
| Gambar 2.11 Minyak Kemiri Sunan Murni | 28 |
| Gambar 2.12 Struktur Reaksi Pembuatan Fenol | 29 |
| Gambar 2.13 Struktur Kimia Aditif Fenol | 29 |
| Gambar 2.14 Zat Aditif Fenol..... | 30 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 32 |
| Gambar 3.2 Timbangan Analitik | 34 |
| Gambar 3.3 Piknometer | 34 |
| Gambar 3.4 Gelas Beker | 34 |
| Gambar 3.5 Viskometer Ostwald..... | 35 |
| Gambar 3.6 Kotak Uji..... | 35 |
| Gambar 3.7 Elektroda Uji | 35 |
| Gambar 3.8 Alat Uji..... | 35 |
| Gambar 3.9 Penaik Tegangan | 36 |
| Gambar 3.10 ASTM Color Scale | 36 |
| Gambar 3.11 Minyak Kemiri Sunan | 36 |
| Gambar 3.12 Fenol Padat..... | 36 |
| Gambar 3.13 Sampel Minyak Kemiri Sunan Tanpa Penambahan Fenol..... | 37 |
| Gambar 3.14 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 25 ml | 37 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.15 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 50 ml | 37 |
| Gambar 3.16 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 75 ml | 38 |
| Gambar 3.17 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 100 ml | 38 |
| Gambar 3.18 Fenol dalam Bentuk Cair..... | 38 |
| Gambar 3.19 Tingkatan Warna Menurut Standart ASTM D 1500..... | 43 |
| Gambar 3.20 Diagram Alir Pengujian | 44 |
| Gambar 4.1 Pengujian Viskositas | 47 |
| Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Variasi Fenol Terhadap Viskositas Kinematik | 48 |
| Gambar 4.3 Pengujian Massa Jenis..... | 50 |
| Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Variasi Fenol Terhadap Massa Jenis | 51 |
| Gambar 4.5 Skala Warna Berdasarkan Standart ASTM D 1500 | 53 |
| Gambar 4.6 Hasil Skala Pengujian Kejernihan..... | 54 |
| Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Variasi Fenol Terhadap Kejernihan..... | 54 |
| Gambar 4.8 Grafik Hubungan Variasi Fenol dengan Tegangan Tembus..... | 58 |
| Gambar 4.9 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Tegangan Tembus..... | 60 |
| Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Uji Tegangan Tembus dengan SPLN 49-1 Tahun 1982 | 62 |
| Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Uji Massa Jenis dengan SPLN 49-1 Tahun 1982 | 63 |
| Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Uji Viskositas Kinematik dengan SPLN 49-1 Tahun 1982 | 64 |
| Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Uji Kejernihan dengan Standart ASTM D 1500 | 65 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem jaringan tenaga listrik isolasi merupakan salah satu komponen yang perannya tidak dapat dipisahkan, isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian bertegangan dan yang tidak bertegangan sehingga tidak terjadi percikan maupun lompatan api. Ada tiga jenis bahan isolasi yaitu isolasi cair, padat dan gas (udara) diantara ketiganya menurut hukum paschen isolasi cair memiliki 1000 kali lebih baik kekuatan dielektriknya dari isolasi gas maupun padat. Sehingga dalam tugas akhir ini isolasi cair digunakan untuk media penelitian ditambah lagi minyak sebagai media isolasi yang digunakan di dalam transformator daya.

Transformator adalah salah satu bagian sistem jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC (*Alternating current*) atau tegangan bolak-balik namun tidak dapat mengubah frekuensi tegangan. Transformator daya banyak dipergunakan dalam pembangkitan, transmisi maupun distribusi. Untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya dalam penyaluran tenaga listrik maka transformator daya menjadi solusi untuk memperbaiki susut daya yang terbuang. Karena pentingnya fungsi transformator dalam sistem jaringan listrik maka keandalannya harus dijaga agar dalam pendistribusian tenaga listrik tidak mengalami gangguan. Gangguan dan kerusakan yang terjadi menimbulkan kerugian dari sisi ekonomi serta terganggunya distribusi tenaga listrik ke konsumen akibat adanya pemadaman listrik. Harga transformator yang sangat mahal diharuskan untuk dilakukan perawatan secara berkala untuk menghindari kerusakan. Salah satu bagian yang menjadi perhatian dan perawatan yaitu minyak isolasi transformator

Minyak isolasi transformator mempunyai dua fungsi utama yaitu sebagai media isolasi dan sebagai pendingin. Namun bahan baku untuk membuat isolasi transformator sebagian besar masih mengandalkan minyak bumi dan bahan-bahan tambang seperti ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom, dan perak (Djiteng, 2011) sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan selain itu minyak bumi juga merupakan energi fosil yang

tidak dapat diperbarui sehingga jika terus-menerus digunakan ketersediaanya mengalami kelangkaan.

Dari uraian latar belakang diatas maka diperlukan alternatif pengganti minyak transformator daya dengan memanfaatkan tumbuh-tumbuhan untuk menghasilkan minyak nabati yang ramah lingkungan. Pemanfaatan sumber daya alam yang terbarukan menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan akan hasil olahan minyak bumi. Minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*), minyak jarak dan minyak kemiri sunan yang sampai saat ini berpotensi menjadi pengganti dari minyak isolasi transformator.

Penelitian tentang minyak nabati sebagai alternatif pengganti transformator daya untuk tugas akhir ini mengacu pada peneliti sebelumnya yang pernah dilakukan oleh (Kurrahman, 2016) minyak nabati alternatif yang dipergunakan berupa minyak kemiri sunan, dikarenakan beberapa aspek karakteristik minyak kemiri sunan yang memenuhi antara lain densitas (massa jenis) dan titik nyala. Kedua aspek ini nilainya menurut standart massa jenis sebesar $\leq 0,895 \text{ gr/cm}^3$, minyak kemiri sunan sebesar $0,89 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan untuk titik nyala sesuai standart kelas 2 yaitu sebesar 130° C , sedangkan yang dimiliki minyak kemiri sunan yaitu sebesar 140° C . Dalam hasil penelitiannya aspek yang diuji hanya sifat elektris yaitu tegangan tembus, hasil rata-rata saat pengujian sebesar $17,55 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ pada jarak sela $2,5 \text{ mm}$ hasil dari penelitian ini masih jauh dibawah standart yang telah ditetapkan SPLN 49-1 yaitu sebesar $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$. Peneliti menyarankan untuk menambahkan sebuah zat katalis aditif untuk meningkatkan tegangan tembusnya yaitu aditif fenol.

Zat katalis aditif berupa fenol tersebut pernah diteliti oleh (Supriyanto, 2007) dalam mempurifikasi minyak transformator yang pernah dipakai, variasi fenol yang ditambahkan sebesar 20 ml , 25 ml , dan 30 ml . Pengujian dilakukan sesuai standart IEC 156 dengan elektroda setengah bola dan jarak sela $2,5 \text{ mm}$. Hasil pengujian yang diperoleh ketika minyak transformator bekas sebelum dipurifikasi dengan fenol tegangan tembusnya sebesar $6,979 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ setelah dipurifikasi dengan fenol hasil tegangan tembusnya sebesar $21,180 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ dengan konsentrasi fenol 20 ml , $23,552 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ saat konsentrasi 25 ml dan

29,400 kV/2.5 mm saat konsentrasi 30 ml. Tegangan tembus minyak transformator bekas setelah dipurifikasi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi katalis zat aditif fenol.

Penelitian tentang penambahan aditif katalis fenol pernah dilakukan oleh (Adibah, 2016) aditif fenol tersebut ditambahkan pada minyak jarak, dalam penelitian ini sifat fisika berupa massa jenis dan viskositas kinematik juga dilakukan pengujian selain uji tegangan tembus hasil uji pada saat penambahan fenol 100 ml dan suhu uji 100° C, tegangan tembusnya sebesar 33,33 kV/2,5 m lebih besar ketika sebelum penambahan fenol yang hanya sebesar 8 kV/2,5 sedangkan untuk sifat fsika berupa viskositas kinematik sebesar 7,795 cSt dan massa jenis sebesar 0,9429 gr/ cm³ saat penambahan fenol 100 ml.

Dari penelitian-penelitian yang telah diuraikan diatas maka tugas akhir ini meneruskan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kurrahman, 2016) karena hasil dari penelitian tegangan tembus minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya hanya sebesar 17,55 kV/2.5 mm masih belum memenuhi SPLN 49-1: 1982 yaitu sebesar ≥ 30 kV/2.5 mm. Aditif fenol dipilih untuk memperbaiki kualitas dari minyak kemiri sunan karena dari dua peneliti sebelumnya (Supriyanto, 2007) dan Adibah, (2016) terbukti dapat meningkatkan tegangan tembus pada masing-masing objek penelitiannya. Selain uji tegangan tembus, penelitian tugas akhir ini juga dilakukan pengujian sifat fisika berupa massa jenis, viskositas dan kejernihan. Uji tersebut dilakukan untuk lebih menguatkan layak atau tidaknya minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya yang pernah dilakukan oleh (Adibah, 2016) terhadap objek penelitiannya berupa minyak jarak.

Nantinya dalam penelitian tugas akhir ini minyak kemiri sunan diuji dengan penambahan variasi konsentrasi aditif fenol antara lain sebesar 25 ml, 50 ml, 75 ml, dan 100 ml yang didasarkan saran oleh (Kurrahman, 2016) dan mengacu pada dua penelitian sebelumnya oleh (Supriyanto, 2007) dan (Adibah, 2016). Sifat-sifat karakteristik yang diuji antara lain elektrik berupa tegangan tembus, sifat fisika berupa massa jenis, viskositas dan kejernihan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah antara lain sebagai berikut

1. Bagaimana karakteristik fisika berupa massa jenis, viskositas dan kejernihan minyak kemiri sunan terhadap penambahan aditif fenol?
2. Seberapa besar pengaruh penambahan aditif fenol terhadap tegangan tembus minyak kemiri sunan?
3. Bagaimana kelayakan minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi dan struktur kimia pada minyak kemiri sunan
2. Tidak membahas perubahan zat pada sampel uji pada pengujian tegangan tembus
3. Tegangan yang dipergunakan untuk pengujian adalah tegangan AC (bolak-balik) dengan frekuensi 50 Hz.
4. Tidak membahas reaksi kimia dan struktur molekul yang timbul saat penambahan aditif fenol terhadap minyak kemiri sunan.
5. Analisa dibatasi terhadap hasil pengujian tegangan tembus, viskositas, massa jenis dan kejernihan minyak kemiri sebelum dan sesudah dengan penambahan aditif fenol

1.4 Tujuan

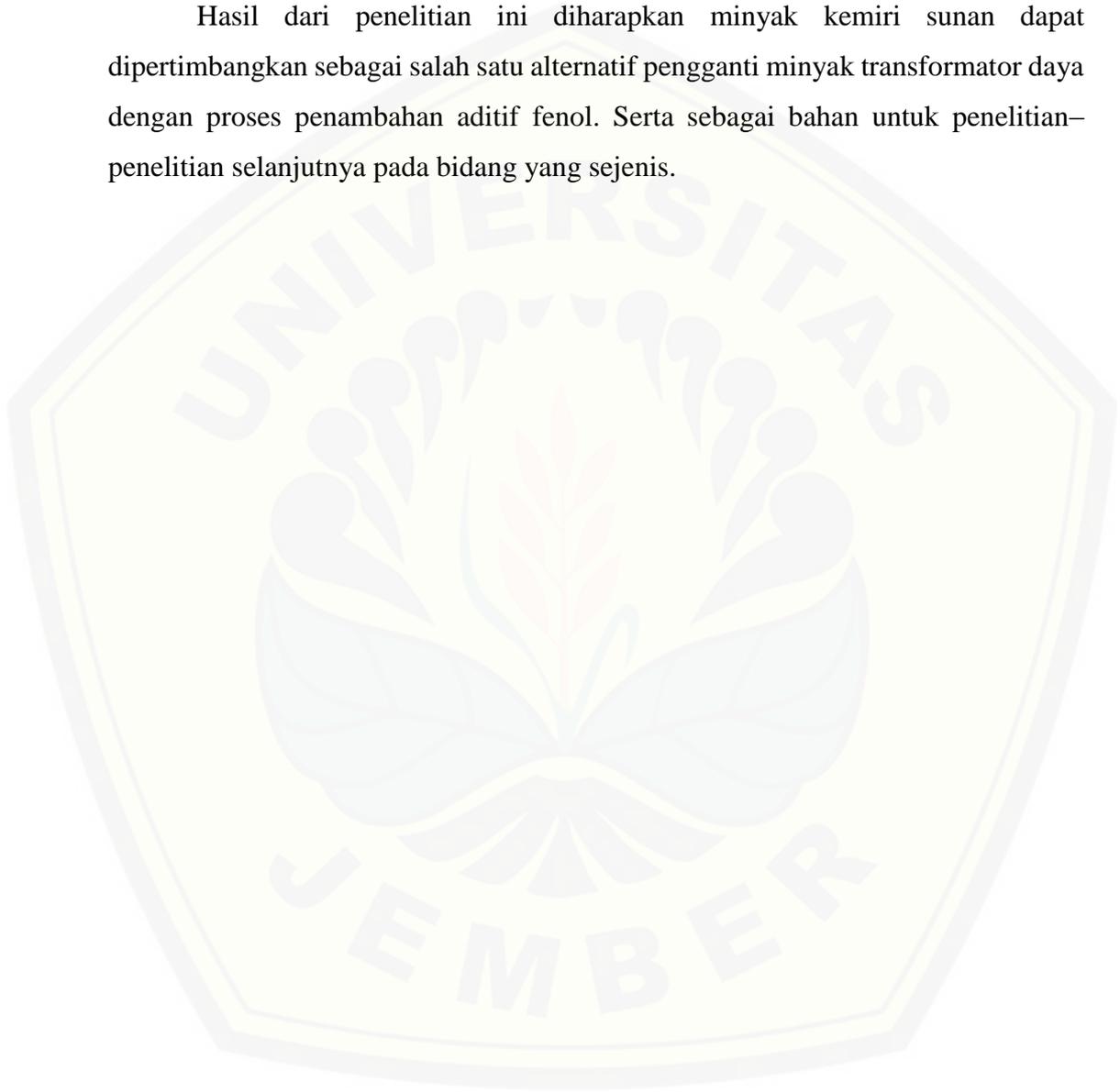
Penelitian tugas akhir ini bertujuan antara lain adalah:

1. Mengetahui pengaruh aditif fenol terhadap karakteristik fisika berupa massa jenis, viskositas dan kejernihan minyak kemiri sunan
2. Mengetahui pengaruh penambahan aditif fenol terhadap tegangan tembus minyak kemiri sunan.

3. Mengetahui bagaimana kelayakan minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya.

1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan minyak kemiri sunan dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif pengganti minyak transformator daya dengan proses penambahan aditif fenol. Serta sebagai bahan untuk penelitian-penelitian selanjutnya pada bidang yang sejenis.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat dalam sistem jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan listrik. Transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dinamakan trafo *step up* sedangkan untuk penurun tegangan dinamakan trafo *step down*, walaupun dapat menurunkan maupun menaikkan tegangan transformator tidak dapat mengubah frekuensi tegangan. Transformator menjadi solusi dalam penyaluran tenaga listrik dikarenakan dapat mengurangi rugi-rugi daya dan *drop* tegangan saat pentransmisian tenaga listrik.

Prinsip kerja dari transformator yaitu ketika transformator teraliri arus listrik maka bagian inti besi transformator menjadi magnet, karena inti besi dikelilingi oleh belitan kumparan primer dan sekunder maka kedua belitan tersebut timbul potensial atau beda tegangan yang mengelilingi inti besi sehingga menimbulkan gaya gerak listrik.

Ada beberapa macam transformator yang digunakan di dalam sistem jaringan listrik antara lain transformator distribusi dan transformator daya. Transformator distribusi berfungsi menaikkan tegangan saat pendistribusian tenaga listrik dengan tujuan menjaga tegangan agar tetap stabil saat penyaluran ke konsumen. Transformator daya dipergunakan untuk menurunkan tegangan dari sisi pembangkit ke gardu induk maupun dari transmisi gardu induk ke bagian distribusi. Karena harga yang mahal, maka transformator memerlukan perawatan bagian yang paling rentan untuk memerlukan perawatan intensif yaitu bagian minyak isolasinya.



Gambar 2.1 Transformator Daya

2.1.1 Macam-Macam Transformator

Transformator tenaga menurut tegangan kerjanya di klasifikasikan menjadi tiga kelompok antara lain:

a. Transformator Tenaga Tegangan kerja > 170 kV

Transformator jenis ini digunakan pada pembangkit listrik selain tegangan kerjanya yang termasuk dalam golongan tegangan ekstra tinggi, juga daya beban yang dapat dikeluarkan juga tinggi dapat mencapai 600 MVA.

b. Transformator Tenaga Tegangan kerja 70-170 kV

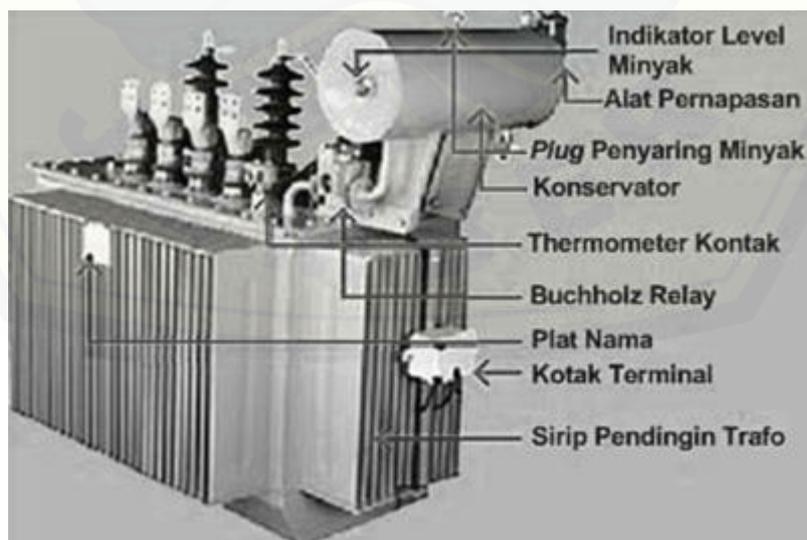
Dengan tegangan kerja antara 70-170 kV jenis transformator ini digunakan pada bagian transmisi atau gardu induk karena tegangan kerjanya tergolong tegangan menengah sampai tegangan tinggi.

c. Transformator Tenaga Tegangan kerja < 70 kV

Jenis ini masuk pada tegangan kerja menengah dan rendah karena tegangan kerja dan aplikasi pemasangannya di bawah < 70 kV. Sebagian besar transformator jenis ini pemasangannya pada jaringan distribusi tenaga listrik.

2.1.2 Bagian-Bagian Transformator

Transformator tenaga beserta bagian-bagiannya dapat dilihat dan dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Bagian-Bagian Transformator (sumber <http://www.bloganton.info>)

- a. Indikator level minyak
Untuk mengetahui dan mengawasi kondisi transformator khususnya minyak isolasinya terutama saat beroperasi.
- b. Alat Pernapasan
Menjaga kondisi minyak tetap pada suhu stabil akibat dari adanya perubahan suhu yang berubah-ubah.
- c. Plug Penyaring Minyak
Menyaring zat-zat yang tidak diinginkan pada minyak transformator ataupun untuk menjaga dari kontaminan partikel yang tidak diinginkan.
- d. Konservator
Tempat penampungan minyak isolasi transformator sebagai sirkulasi dengan udara
- e. Tap Changer
Mengubah tegangan kerja pada sisi primer sesuai dengan keinginan
- f. Plat Nama
Merupakan identitas sekaligus referensi pemasangan saat transformator dioperasikan identitas ini bisa berupa tegangan kerja, merk, no seri dan tahun buat.
- g. Sirip Pendingin
Sebagai sistem pendingin transformator dan sirkulasi minyak agar transformator tidak cepat panas saat beroperasi.
- h. Kumparan Primer
Merupakan bagian lilitan pada sisi tegangan rendah/menengah.
- i. Kumparan Sekunder
Merupakan bagian lilitan pada sisi tegangan menengah/tinggi.
- j. Bushing Primer
Tempat kontak pada sisi bagian tegangan menengah.
- k. Bushing Sekunder
Tempat kontak pada sisi bagian tegangan rendah.
- l. Tangki
Sebagai tempat minyak dan kumparan transformator.

2.2 Minyak Isolasi Transformator

Minyak pada transformator pada peralatan tinggi mempunyai fungsi sebagai pendingin dan sebagai isolator pada tegangan tinggi. Minyak transformator berfungsi sebagai pendingin karena minyak transformator mampu menghantarkan panas dengan baik. Minyak transformator yang baik harus bisa menjadi pemisah tegangan antara bagian-bagian yang memiliki beda fasa. Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan daripada isolasi yang lain, antara lain (Naidu, 1995):

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

2.3 Jenis-jenis Minyak Isolasi

Minyak isolasi yang ada dibagi menjadi dua jenis menurut bahan pembuatannya yaitu minyak isolasi dari bahan fosil dan minyak trafo yang berasal dari tumbuhan. Minyak transformator sebagian besar masih berasal dari fosil sedangkan untuk yang berasal dari tumbuh-tumbuhan masih banyak diteliti untuk menjadi alternatif pengganti. Berikut salah satu contoh minyak transformator dapat dilihat pada Gambar 2.3 serta karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik Minyak Transformator Shell Diala B

| Parameter | Nilai | Satuan |
|----------------------|-------|-----------|
| Tegangan Tembus | 68,9 | kV/2,5 mm |
| Kadar Air | 4,94 | ppm |
| Viskositas Kinematik | 12 | cSt |
| Sediment | 0,031 | wt% |
| Warna | 0,5 | |
| Kadar Asam | 0,021 | mg KOH/gr |
| Tegangan Antar Muka | 32,1 | mN/m |
| Titik Nyala | 160 | °C |

(Sumber: PT PLN (Persero))



Gambar 2.3 Minyak Transformator Shell Diala B

2.3.1 Zat Penyusun Minyak Transformator

Minyak mentah (*crude oil*) merupakan salah satu bahan dasar untuk membuat minyak transformator. Namun minyak mentah (*crude oil*) tidak dapat langsung digunakan sebagai minyak transformator sehingga dalam produksinya pabrik-pabrik pembuat minyak transformator menambahkan zat atau senyawa tertentu untuk menambah kekuatan dielektrik minyak. Minyak transformator terbuat dari bahan kimia organik, bahan kimia organik dari minyak transformator tersusun dari senyawa atom-atom C dan H (Djiteng M, 2011). Pada umumnya minyak transformator tersusun dari senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon.

a. Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa kimia yang tersusun atas unsur-unsur hidrogen dan karbon. Bagian terbesar dari minyak transformator adalah senyawa hidrokarbon yang dibagi lagi menjadi tiga kelompok besar yaitu senyawa parafin, senyawa naphtena, dan senyawa aromatik.

1. Senyawa Parafin

Parafin merupakan salah satu golongan pembentuk dari tiga kelompok besar penyusun senyawa hidrokarbon rantai yang dimiliki senyawa ini yaitu lurus dan bercabang dan masuk ke dalam senyawa hidrokarbon jenuh. Dalam cabang kimia organik senyawa ini termasuk sebagai senyawa alifatis atau dikenal dengan rantai terbuka.

2. Senyawa Naphtena

Senyawa ini digolongkan sebagai salah satu senyawa hidrokarbon yang berbentuk cincin dan memiliki rantai tertutup. Senyawa ini juga masuk ke dalam senyawa alisiklis. Cincin-cincin yang ada pada senyawa ini masing-masing terdiri dari lima atau enam atom karbon. Selain alisiklis naphtena juga bisa masuk dalam golongan senyawa monosiklis, disiklis dan lain sebagainya. Hal ini dapat terjadi tergantung dalam jumlah cincin yang dimilikinya. Cincin-cincin pada senyawa ini juga dapat terhubung antar satu dengan lainnya.

3. Senyawa Aromatik

Aromatik merupakan senyawa yang mempunyai satu sampai lebih cincin aromatik. Cincin ini dapat bergabung dengan cincin golongan senyawa alisiklik. Fungsi dari senyawa ini yaitu sebagai penghambat oksidasi (*inhibitor*) serta menjaga kestabilan senyawa hidrokarbon. Walaupun senyawa ini sangat bermanfaat, jika jumlahnya terlalu banyak akan menyebabkan berkurangnya kekuatan dielektrik, dan juga sifat penglarut minyak yang ada pada isolator padat terhadapnya berkurang. Ketiga pembentuk senyawa hidrokarbon yang sudah dijelaskan diatas memiliki fungsi yang berbeda pada minyak mentah. Dari ketiga senyawa minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena sifat fisik dan kimia yang terkandung di dalamnya berbeda serta minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral. Selain senyawa paraffin, naphtena dan aromatik terdapat juga pembentuk minyak tranformator daya tersusun atas senyawa hidrokarbon.

b. Senyawa Non Hidrokarbon

Pada senyawa ini unsur utama pembentuk nonhidrokarbon yang terkandung di dalam minyak transformator antara lain substansi asphalt / tar, senyawa organik yang di dalamnya terdapat unsur belerang dan nitrogen, senyawa organometalik. asam naphtena, alkohol dan ester.

1. Ter

Ter memberikan warna khas tersendiri pada minyak transformator. Senyawa ter ini sendiri pada saat proses pemurniaan minyak sebagian besar dihilangkan. Hasil dari pemurniaan minyak transformator tersebut ter yang ada hanya

berkonsentrasi rendah yaitu hanya 2 – 2.5% berat dari hasil pemurniaan minyak tersebut. Meskipun jumlah dan konsentrasi dari ter ini sangat rendah, ada sebagian jenis dari senyawa ini sangat berpengaruh terhadap sifat dan sistem kerja minyak transformator. Sifat yang dimiliki senyawa ini salah satunya mempercepat proses oksidasi. Selain mempercepat proses oksidasi senyawa ini juga mempunyai efek sebagai penghambat. Klasifikasi Ter dapat dikelompokkan antara lain sebagai berikut :

- a. Ter netral, memiliki massa jenis sekitar satu, merupakan senyawa yang larut dalam minyak *eter* wujudnya berupa cair maupun semi cair.
- b. Asphaltena, merupakan senyawa dengan substansi padat. Senyawa ini tidak dapat larut dalam minyak *eter* tetapi senyawa ini dapat larut dalam beberapa senyawa lain diantaranya *benzena*, senyawa *benzena* seri, *kloroform* dan karbon disulfida. Dan memiliki massa jenis lebih dari satu.
- c. Karbena, salah satu substansi yang tidak dapat larut dalam pelarut konvensional manapun namun substansi ini sebagian diantaranya dapat larut dalam karbon disulfida dan pridin.

2. Senyawa *Sulfur* (belerang)

Pada semua minyak mentah, *sulfur* (belerang) selalu terkandung di dalamnya. Konsentrasi *sulfur* yang ada jumlahnya bervariasi antara lain lebih kecil sama dengan satu hingga dua puluh persen dari berat minyak mentah. Pengaruh dari senyawa ini yaitu terletak pada sifat-sifat minyak yang turut andil untuk penentu proses keperluan pengolahan minyak. Semua senyawa *sulfur* (belerang) dalam hasil bagian penyulingan minyak mentah yang memiliki titik didih rendah sebagian besar pasti terkandung senyawa *sulfur* di dalamnya, namun jika hasil penyulingan titik didihnya lebih besar dari 200° C, *sulfur* yang terkandung di dalamnya berbentuk struktur siklis. Berikut merupakan golongan besar senyawa *sulfur* yang terdapat dalam minyak antara lain :

- a. Mercaptan (tiol), merupakan senyawa dengan rumus kimia RSH, R merupakan radikal parafin yang mempunyai rantai lurus ataupun bercabang. R bisa juga merupakan hidrokarbon siklik (aromatik atau alisiklik).

- b. Sulfida (thiaalkana), merupakan senyawa dengan rumus kimia RSR_1 , R dan R_1 merupakan radikal hidrokarbon.
 - c. Disulfida (bithiaalkana), rumus kimianya $RSSR$. Merupakan senyawa pembentuk dari minyak transformator.
 - d. Thiopena, senyawa ini mempunyai struktur dasar berbentuk cincin dengan jumlah lima atom, salah satu atom pembentuknya adalah atom belerang. Sebagian besar senyawa belerang yang ada di dalam minyak transformator mempunyai sifat yang tidak stabil serta korrosif. Dikarenakan mempunyai sifat yang korrosif dan tidak stabil maka dalam proses destilasi minyak sebisa mungkin untuk dihilangkan dan menekan kandungan senyawa belerang. Hal ini difungsikan pengkorosifan tembaga atau yang berhubungan dengan minyak transformator secara langsung dapat dikurangi maupun dicegah.
3. Senyawa Nitrogen
Merupakan senyawa yang mempunyai peran penting dalam pada proses oksidasi serta sifatnya yang katalis membuat senyawa ini tidak diharapkan keberadaanya. Walaupun nitrogen yang ada di dalam minyak konsentrasinya cukup kecil hanya 0,8%. Namun fungsi dan keberadaan dari senyawa ini sangat berperan penting dalam penyusun minyak.
 4. Asam Naphtena dan beberapa senyawa yang mengandung oksigen
Dalam minyak bumi kandungan Asam naphtena konsentrasi jumlahnya yang cukup besar. Namun selama proses pemurnian banyak yang terbuang sehingga jumlahnya hanya berkisar 0.02 % saja. Selain asam naphtena minyak bumi juga mengandung asam-asam lain berupa senyawa alifatik serta aromatik namun jumlahnya dalam skala kecil saja, lalu terdapat juga senyawa ester, keton, peroksida dan alkohol.
 5. Senyawa yang mengandung logam
Di dalam suatu minyak tranformator ada beberapa senyawa yang mengandung logam antara lain besi, tembaga, aluminium, titanium, kalsium, molibdenum, timah, magnesium, krom dan perak dengan jumlah yang sangat sedikit (Adibah, 2016).

2.3.2 Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak

Sifat-sifat fisika isolator minyak dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam diantaranya:

a. Kejernihan

Menurut standar ASTM D 1500 dan SPLN 49-1 Tahun 1982. Kejernihan merupakan salah satu aspek penting untuk menentukan layak tidaknya suatu minyak untuk dijadikan isolasi cair pada transformator daya. Kejernihan minyak dipetakan menurut skala-skala warna yang ada. Minyak yang baik harus mempunyai warna jernih dan bersih, menyerupai air murni. Namun PLN mempunyai skala minimal yang masih dianggap layak untuk dijadikan minyak transformator yaitu skala < 5 . Jika lebih dari skala warna tersebut maka minyak tidak layak untuk dipakai.

b. Massa jenis

Massa jenis adalah perbandingan massa larutan terhadap volumenya. Massa jenis ini fungsinya mengetahui seberapa jauh minyak dapat terpisah dengan air agar tidak tercampur. Pengukuran massa jenis ini dilakukan di laboratorium dengan suhu uji 20°C . Menurut SPLN 49-1 Tahun 1982 massa jenis yang harus dipenuhi untuk minyak transformator baru yaitu sebesar $\leq 0.895 \text{ gr/cm}^3$. Dan harus lebih rendah daripada air (massa jenis air 1 gr/cm^3).

c. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah laju aliran yang mengalir dari titik satu ke titik lainnya tanpa adanya pengaruh dari luar. Viskositas ini bisa disebut juga kekentalan. Semakin besar kekentalannya maka nilainya juga semakin besar. Sebagai isolasi media pendingin, viskositas mempunyai dampak yang sangat krusial di dalam laju aliran konveksi untuk memindahkan panas. Semakin rendah nilai viskositas maka semakin bagus juga konduktivitas panasnya sehingga semakin bagus juga kualitas minyak transformator yang dimiliki. Secara mekanika, viskositas dirumuskan oleh *Poiseuille* menurut hubungan berikut (Adibah, 2016):

$$\mu = \frac{\pi p r^4 t}{v l} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

μ = viskositas (cSt)

P = tekanan (atm)

t = lamanya aliran (s)

V = volume cairan yang mengalir (ml)

l = panjang/tinggi tabung (mm)

r = jari-jari tabung (mm)

Viskositas yang tertera di atas merupakan viskositas dinamis bisa disebut juga viskositas mutlak. Namun yang paling sering dipergunakan adalah viskositas kinematik. Viskositas kinematik ini dapat dirumuskan yaitu hasil bagi nilai viskositas dinamis dengan massa jenis minyak. Viskositas kinematik satuannya adalah stokes lebih sering satuannya memakai centistokes (cSt)

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

(Wibowo, 2008)

d. Titik Nyala

Titik nyala adalah suatu keadaan di mana minyak transformator dipanaskan sampai mencapai suhu tertentu sebelum uap yang dihasilkan menjadi api yang berbahaya. Minyak transformator yang baik memiliki titik nyala yang tinggi standart dari PLN sebesar $\geq 140^{\circ}$ C. Titik nyala yang tinggi diperlukan agar minyak transformator tidak cepat menimbulkan kebakaran saat terkena api.

e. Titik Tuang

Kebalikan dari titik nyala, titik tuang adalah kondisi dimana minyak transformator masih dapat mengalir (fungsinya sebagai isolator) pada saat didinginkan pada suhu dibawah normal (suhu dibawah 0° C). Minyak transformator yang baik diharapkan memiliki titik tuang yang serendah mungkin agar minyak transformator tidak membeku.

f. Kandungan Air

Kandungan air yang terdapat pada minyak isolasi transformator menyebabkan menurunnya tegangan tembus (*Breakdown Voltage*) dan memacu timbulnya kerusakan pada transformator daya itu sendiri batas kandungan air yang diperbolehkan yaitu sebesar 30 mg/kg menurut standart SPLN 49-1 Tahun

1982. Selain itu juga kandungan air menyebabkan timbulnya *hot spot* pada isolator belitan transformator. Karena sifatnya yang korosif dan cepat menghantarkan arus listrik. Maka kandungan air pada minyak transformator harus senantiasa dilakukan pengujian rutin agar memiliki fungsi yang baik.

2.3.3 Sifat-sifat Listrik Isolator Minyak

a. Tegangan Tembus

Tegangan tembus merupakan kondisi dimana pada saat isolator sudah tidak dapat menahan stress tegangan antara elektroda satu dengan elektroda lainnya tanda-tanda dari tembusnya tegangan yaitu ketika isolator minyak terdapat gelembung-gelembung dan jika diteruskan timbul percikan api antar elektroda uji. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya tegangan tembus yaitu kontaminan dan partikel yang tercampur pada minyak dan kadar air yang tinggi.

b. Kekuatan dielektrik

Kekuatan dielektrik adalah kemampuan isolator untuk menahan adanya tegangan tinggi tanpa mengakibatkan adanya kegagalan isolasi. Kekuatan dielektrik ini bergantung pada atom dan molekul bahan itu sendiri. Dalam kenyataannya kekuatan dielektrik tergantung pada material elektroda, jenis tegangan, suhu dan gas yang terdapat pada cairan minyak ataupun molekul lain yang dapat mengubah sifat cairan isolasi minyak. Secara teori kekuatan dielektrik isolasi setara dengan kekuatan tegangan tembus listrik yang terjadi. Kekuatan dielektik mempunyai batas kemampuan untuk menahan adanya aliran listrik. Jika aliran listrik, melebihi batas kemampuan dielektriknya dan aliran listrik berlangsung terus-menerus maka, maka dielektrik menghantarkan arus dan fungsi sebagai isolator tidak terpenuhi. Fenomena ini dinamakan tembus listrik atau *breakdown*.

c. Konstanta Dielektrik

Suatu isolator atau bahan mempunyai kekuatan penyimpanan energi listrik yang berbeda antar tiap bahan, penyimpanan energi listrik dipengaruhi oleh molekul yang menyusunnya. Mampu atau tidaknya bahan untuk menyimpan

energi elektrostatis (Permitivitas) mengalami kenaikan apabila struktur komposisi bahan kimianya mengalami perubahan. Ini menyebabkan molekul berat bahan tersebut meningkat. Penyimpanan ini terjadi akibat adanya pergeseran kedudukan relatif muatan positif internal dan muatan negatif internal terhadap gaya atomik dan molekular yang normal. (Sayogi, 2008:3)

2.3.4 Manfaat Minyak Transformator

Selain sifat fisika dan listrik yang dimiliki oleh isolator minyak. Minyak transformator juga mempunyai beberapa fungsi lain sebagai isolator cair pada transformator antara lain:

a. Minyak Transformator Sebagai Isolasi

Minyak sebagai isolasi harus mampu menahan tegangan stress yang tinggi karena transformator merupakan bagian dari tegangan tinggi maupun tegangan rendah, jika bagian yang bertegangan tinggi dan bertegangan rendah terjadi hubung singkat menyebabkan kerusakan pada peralatan-peralatan yang terhubung dengan transformator. Dalam beroperasi minyak transformator harus mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, resistivitas yang tinggi dan rugi-rugi faktor yang kecil.

b. Minyak Transformator Sebagai Pendingin

Adanya minyak di dalam transformator berfungsi sebagai cairan yang berfungsi sebagai pengisi yang dapat membantu proses pendinginan belitan dan inti besi. Kelebihan minyak untuk isolasi cair pada transformator yaitu untuk mengisi celah dan ruang yang akan diisolasi serta minyak tersebut bersirkulasi proses konversi energi. Hal ini dapat mengurangi panas akibat rugi energi yang timbul pada transformator daya.

2.4 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator

Kegagalan isolasi pada minyak transformator banyak macamnya beberapa diantaranya karena faktor umur (sudah lama digunakan), berkurangnya kekuatan dielektrik dan akibat tegangan berlebih yang dilakukan terus menerus. Prinsipnya isolator berfungsi untuk menahan suatu *stress* tegangan yang timbul agar tidak

terjadi tembus atau kegagalan. Jika minyak atau bahan isolasi diberi tegangan akibatnya elektron-elektron berpindah dari satu molekul sehingga menyebabkan ketidakmurnian (*impurity*) semisal arang, partikel-partikel pengotor, kadar air dan kelembapan dapat menyebabkan tembusnya tegangan atau kegagalan isolasi.

Ketidakmurniaan pada isolasi cair menyebabkan sifat fisika maupun elektriknya mengalami perubahan, dengan adanya hal ini proses tembusnya tegangan semakin cepat. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, gelembung gas dan uap air (Abduh, Syamsir, 2003). Berdasarkan teori zat isolasi cair dibagi menjadi empat macam diantaranya (Arismunandar, 1982):

a. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Teori ini beranggapan bahwa proses kegagalan pada zat cair sama dengan apa yang terjadi dalam kegagalan dalam gas. Sehingga untuk memulai proses kegagalan maka diperlukan elektron awal. Elektron awal inilah yang berfungsi untuk memulai proses kegagalan.

b. Teori kegagalan gelembung gas

Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan ini yaitu terdapatnya gelembung-gelembung udara pada isolasi cair. Gelembung udara ini terbentuk diakibatkan permukaan elektroda yang tidak rata. Pada permukaan elektroda terdapat kantung udara ataupun akibat tumbukan elektron pada saat tegangan tembus terjadi. Hal ini mengakibatkan terbentuknya produk tambahan berupa gelembung udara. Gelembung-gelembung udara yang terbentuk akan saling mengikat satu sama lainnya berpengaruh terhadap kuat medan diantara elektrodanya. Sehingga menjembatani dan mempercepat awal terjadinya kegagalan.

$$E_b = \frac{3\varepsilon_1 E_0}{2\varepsilon_1 + 1} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

ε_1 adalah permitivitas zat cair

E_0 adalah medan listrik dalam zat cair tanpa gelembung.

E_b sama dengan batas medan ionisasi gas.

(Panggabean, 2008).

Elektroda yang digunakan dalam media isolasi cair berupa elektroda setengah bola antara lain bisa terbuat dari kuningan, perunggu atau stainless stell. Panjang jarak celah antara kedua elektroda adalah 2,5 mm. standar pengujiannya tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju $2,0 \text{ kV/s} \pm 0,2 \text{ kV/s}$ hingga terjadi tembus.

2.6 Spesifikasi Minyak Isolasi baru Transformator

Minyak transformator dikatakan berfungsi dengan baik harus mempunyai kualitas sesuai dengan kebutuhan standart SPLN 49-1: 1982.

Tabel 2.2 Spesifikasi Minyak Isolasi baru Transformator

| No | Sifat | Kelas 1 | Kelas 2 | Metode Uji |
|-----|---|--------------|--------------|-------------|
| | Kejernihan | Jernih | Jernih | IEC 296 |
| 1. | Massa Jenis 20°C (g/cm^3) | $\leq 0,895$ | $\leq 0,895$ | IEC 296 |
| 2. | Viskositas 20°C (cSt) | ≤ 40 | ≤ 25 | IEC 296 |
| 3. | Kinematika -15°C (cSt) | ≤ 800 | - | IEC 296 |
| 4. | Kinematika -15°C (cSt) | - | ≤ 800 | IEC 296 |
| 5. | Titik Tuang ($^\circ \text{C}$) | ≤ -30 | ≤ -30 | IEC 296 |
| 6. | Kadar Air (mg/kg) | ≤ 25 | ≤ 25 | IEC 296 |
| 7. | Titik Nyala ($^\circ \text{C}$) | ≥ 140 | | IEC 296A |
| 8. | Angka Kenetralan (mg KOH/gr) | $\leq 0,03$ | | IEC 296 |
| 9. | Korosi Belerang | - | Tidak Korosi | IEC 296 |
| 10. | Tegangan Antar Muka (mN/m) | ≤ 22 | ≤ 22 | IEC 422 |
| 11. | Sedimen (Wt %) | 0,3 | 0,3 | |
| 12. | Warna | < 5 | < 5 | ASTM D 1500 |
| | Tegangan Tembus (kV/2,5 mm) | | | |
| 13. | a. Sebelum diolah | ≥ 30 | ≥ 30 | IEC 156 |
| | b. Sesudah diolah | ≥ 50 | ≥ 50 | |
| 14. | Faktor Kebocoran Dielektrik | | $\leq 0,05$ | IEC 474 |
| | Ketahanan Oksidasi | | | IEC 474 |
| 15. | • Angka Kenetralan (mg KOH/gr) | $\leq 0,40$ | $\leq 0,40$ | & |
| | • Kotoran (%) | $\leq 0,10$ | $\leq 0,10$ | IEC 74 |

(Sumber: SPLN 49-1: 1982)

Tabel 2.3 Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator

| Nilai Tegangan Tembus Minimal | Batasan |
|-------------------------------|--|
| 50 kV | untuk tegangan kerja $> 170 \text{ kV}$ |
| 40 kV | untuk tegangan kerja $70-170 \text{ kV}$ |
| 30 kV | untuk tegangan kerja $< 70 \text{ kV}$ |

(Sumber: SPLN 49-1: 1982)

2.7 Medan Dielektrik

Medan dielektrik merupakan beban yang mampu ditahan dielektrik. Tiap-tiap dielektrik mempunyai kekuatan batas untuk menahan kekuatan aliran elektrik. Apabila kekuatan aliran elektrik melebihi batas dari kekuatan dielektrik suatu medan dan berlangsung lama secara terus menerus berakibat pada gagalnya isolator untuk menahan adanya arus yang mengalir. Dalam kasus seperti dielektrik ini disebut sebagai tembus listrik atau *breakdown voltage*. Aliran elektrik tertinggi yang mampu ditahan dalam suatu dielektrik tanpa menimbulkan tembus listrik dielektrik disebut sebagai kekuatan dielektrik. Apabila suatu bahan dielektrik mempunyai kekuatan dielektrik yang disebut sebagai E_k , dan aliran elektrik yang dapat ditahan oleh kekuatan dielektrik disebut $< E_k$.

Penerapan dari tegangan kekuatan dielektrik dapat didefinisikan menjadi gradien potensial dalam volt/mm yang mana gradient ini adalah perbandingan tegangan antara tembusnya atau kegagalan pada dielektrik (V) dengan tebal isolasi (d) yang terpisah antara elektroda. Perbandingan ini dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut (Sirait, 1993):

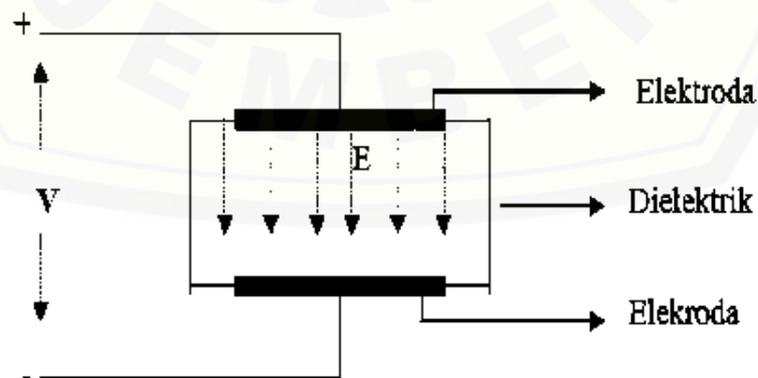
$$E = \frac{V}{d} \text{ (kV/mm) } \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

E = Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh material isolasi

V = Tegangan maksimum yang tercatat pada alat ukur

d = Tebal Isolasi



Gambar 2.5 Medan Dielektrik (Sumber: Panggabean, 2008)

2.8 Minyak Kemiri Sunan

Kemiri sunan atau dengan nama ilmiahnya *Reutealis trisperma* Blanco tanaman ini berasal dari Filipina yang berpotensi sebagai alternatif biodiesel. Nama lain dari kemiri ini antara lain kemiri racun, muncang leuweung, jarak bandung, jarak kebo dan kaliki banten. Menurut (Barley, 1950; Kataren, 1986) kemiri sunan menghasilkan minyak yang disebut dengan tung oil atau minyak kayu china. Biji kemiri jenis ini 45-50% mengandung minyak (Ditjenbun, 2008).

Tanaman kemiri sunan memiliki keistimewaan yaitu dapat tumbuh dan beradaptasi dengan tipe tanah apapun. Suhu optimal untuk tumbuh dan kembang kemiri minyak antara 18,7° C-26,2° C, dengan PH tanah 5,4-7,1. Tanaman ini juga dapat tumbuh baik di daratan rendah hingga 1000 m diatas permukaan laut (Syakir dan karmawat, 2015; 16). Inti biji kemiri jenis ini dapat menghasilkan minyak sebesar 56% warna dari minyak kemiri sunan yang dihasilkan kuning bening. Sisa olahannya antara lain bungkil, bungkil ini mengandung 6% nitrogen, 1,7% natrium dan 0,5% fosfor (vossen dan Umali, 2001). Berikut adalah Buah Kemiri Sunan dan bagian-bagiannya yang tertera pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



(a) Buah Kemiri Sunan; (b) Kulit Buah; (c) Biji; (d) Daging Biji/kernel.

Gambar 2.6 Bagian Buah Kemiri Sunan (Sumber: Herman et al., 2013)

Untuk memperoleh minyak kemiri sunan murni terlebih dahulu bijinya dipecah dan diperah, baru selanjutnya diekstraksi. Ada 2 metode untuk mendapatkan minyak kemiri sunan murni yaitu (Pranowo, 2009):

- Biji dikeringkan sampai kadar airnya mencapai 7% lalu kemudian dipres dengan alat pengepres
- Biji dikupas terlebih dahulu lalu daging buah/kernalnya dikeringkan hingga kadar airnya mencapai 7% selanjutnya dilakukan pengepresan

Dari kedua metode pengolahan tersebut volume minyak yang dihasilkan secara kuantitas maupun kualitasnya metode dengan cara kedua lebih baik dibandingkan dengan metode dengan cara yang pertama.

Karena memiliki ikatan rangkap dan mudah mengering maka minyak kemiri sunan dapat digunakan untuk bahan baku pengawet kayu dan venis. Komponen penyusun buah kemiri sunan antara lain kulit buah 62-68%, tempurung biji 11-16% dan kernel 16-27% (Herman dan Pranowo, 2011). Untuk komposisi daging biji kemiri sunan dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Analisis Proksimat Daging Biji Kemiri Sunan

| Komposisi | Nilai |
|-----------------------------|-------|
| Air (% db) | 10,23 |
| Minyak (% db) | 51,34 |
| Serat (% db) | 7,29 |
| Protein (% db) | 17,06 |
| Abu (% db) | 3,30 |
| Karbohidrat (by difference) | 10,78 |

(Sumber: Berry *et al.*, 2009)

2.8.1 Pengeringan Biji Kemiri Sunan

Untuk mendapatkan minyak kemiri sunan murni yang optimal maka diperlukan pengeringan biji, karena kadar air yang terdapat di dalam biji dan kernelnya sangat tinggi, perlu adanya pengeringan optimal hingga mencapai kurang dari 7 %. Metode pengeringan biji kemiri sunan dilakukan untuk mendapatkan minyak dengan kualitas yang baik. Ada 3 metode yang dapat digunakan antara lain: (Pranowo dkk., 2014: 22)

a. Pengeringan alami

Atau biasanya disebut penjemuran, merupakan salah satu metode pengurangan kadar air suatu bahan menggunakan bantuan panas/sinar matahari untuk memperoleh tingkat kadar air yang seimbang dengan kelembaban nisbi.

b. Pengeringan buatan

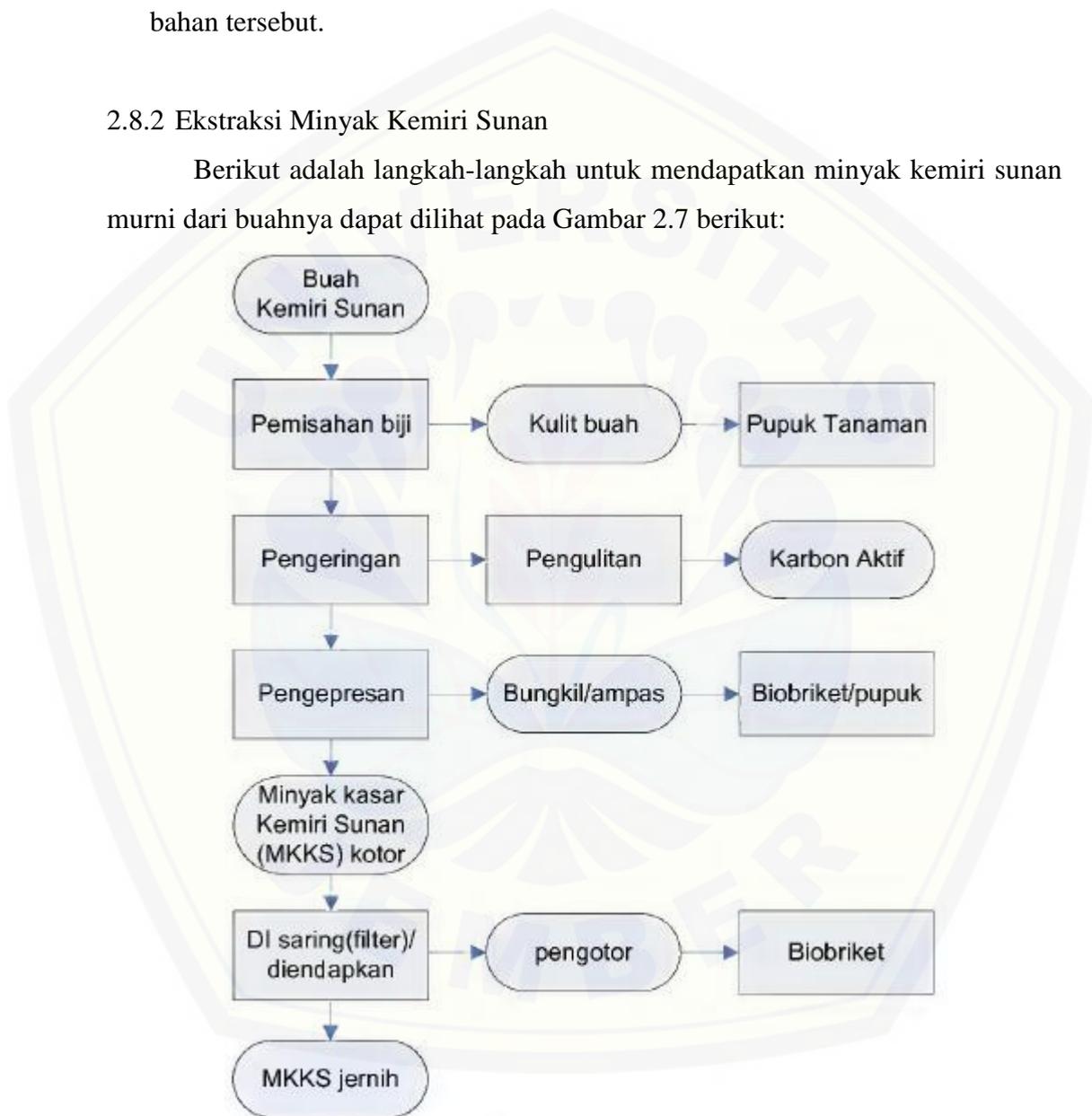
Untuk metode ini pengeringan dilakukan dengan menggunakan bantuan peralatan yang menghasilkan panas bisa berupa cair, padat maupun listrik. Contoh peralatan pengering buatan diantaranya oven, tray dan dryer. Beberapa metode pengeringan ini di antaranya vakum, konvensional dan kondensasi.

c. Pengeringan gabungan

Merupakan pengeringan alami dan buatan. Alami dengan memanfaatkan sinar matahari sedangkan buatan dengan bahan bakar yang menggunakan konveksi paksa yang artinya panas dikumpulkan dalam satu kolektor lalu dihantarkan ke bahan tersebut.

2.8.2 Ekstraksi Minyak Kemiri Sunan

Berikut adalah langkah-langkah untuk mendapatkan minyak kemiri sunan murni dari buahnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Diagram Alir Ekstraksi Minyak Kemiri Sunan (Sumber: Pranowo, 2014)

Setelah melalui proses pengeringan, untuk mendapatkan minyak kemiri sunan murni. Biji alangkah baiknya langsung diekstrak langkah ini dilakukan

karena dapat menurunkan rendemen biji serta kualitas minyak, indikatornya yaitu dengan bertambahnya nilai kuantitas ALB (Asam Lemak Bebas). Ekstraksi merupakan salah satu cara untuk mendapatkan minyak maupun lemak yang terkandung di dalam suatu bahan. Ada 3 metode cara ekstraksi menurut (Pranowo, 2014: 24) antara lain:

a. Metode pengepresan hidrolis (*hydrolic press*)

Pengepresan dengan metode ini dititik beratkan pada kuat maupun tidaknya tekanan *press*. Tekanan yang digunakan kurang lebih $140,6 \text{ kg/cm}^2$. Besar maupun kecilnya tekanan yang diberikan mempengaruhi kuantitas produksi minyak yang dihasilkan. Menurut (Bailey, 1959) metode pengepresan merupakan metode yang paling mudah untuk mendapatkan minyak dari biji-bijian (alat pres pada Gambar 2.7) kandungan minyaknya sebesar 30-70 %. Selain itu proses dari metode ini sangat praktis, ekonomis dan mudah dalam perawatan maupun pengoperasiannya. Tidak dibutuhkan keahlian khusus operator dalam penggunaannya.



Gambar 2.8 Alat Pres Hidrolis (Sumber: Herman et. al, 2009; Aunillah, 2013)

b. Metode pengepresan berulir (*screw press*)

Salah satu metode ekstraksi yang lebih maju dan penerapannya sampai ke industry pengolahan minyak. Metode ini paling cocok dipergunakan untuk memisahkan minyak dari suatu bahan yang kadar minyak yang terkandung di dalamnya di atas 10%. Cara kerja metode ekstraksi ini yaitu ketika bahan mendapat tekanan dari ulir yang sedang berputar, maka otomatis dengan sendirinya terdorong keluar. Minyak hasil dari pengepresan akan keluar melalui celah yang terletak di antara ulir dan penutup bentuknya bisa berupa pipa atau lempengan besi yang

mempunyai rongga, celah dan ukuran tertentu. Untuk ampas sisa pengepresan ke luar dari tempat lain. Alat pengepres berulir ada dua macam yaitu pengepres berulir tunggal (*single screw press*) dan pengepres berulir ganda (*twin screw press*). Pengepresan dengan cara ini mempunyai kelebihan antara lain:

1. Kapasitas produksi lebih besar karena pengepresan bisa dilakukan secara terus menerus.
2. Waktu yang diperlukan dalam proses produksi lebih singkat karena tidak memerlukan perlakuan khusus seperti pengecilan ukuran, pemasakan maupun pemanasan biji.
3. Pada beberapa kasus dari struktur dan sifat bijinya, hasil dari rendemen lebih tinggi.



(a) *Double Stage Screw Expeller*

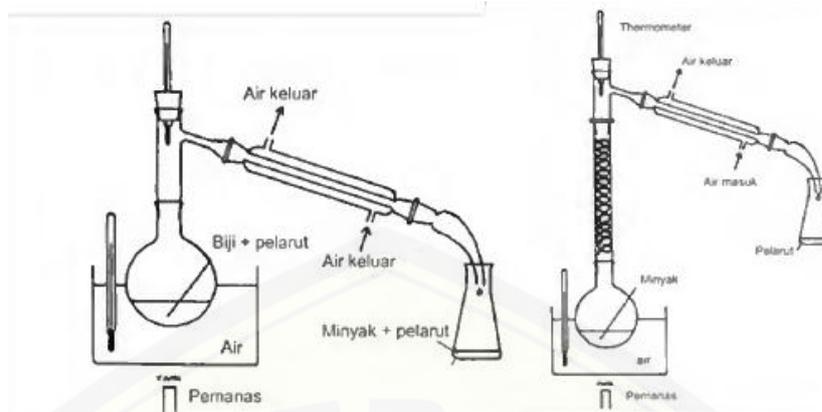


(b) *Single Stage Screw Expeller*

Gambar 2.9 Alat Pres Berulir (Sumber: Suparlan et al., 2010; D. Pranowo, 2011)

c. Metode pelarutan (*solvent extractor*)

Ekstraksi dengan pelarut adalah pemisahan antara bagian dari suatu bahan yang didasarkan pada perbedaan sifat melarut dari masing-masing bagian bahan terhadap pelarut yang digunakan (Pranowo dkk., 2014). Bahan yang akan diekstrak dicampurkan dengan pelarut sampai mencapai titik keseimbangan. Prinsipnya minyak yang sifatnya nonpolar dicampurkan dan dilarutkan dengan pelarut yang bersifat nonpolar. Yang nantinya minyak keluar beserta pelarutnya. Kemudian antara pelarut dan minyak dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Keuntungan dari ekstraksi dengan metode ini hasil rendemen minyak lebih tinggi dengan metode lainnya. Namun biaya yang dibutuhkan mahal dan membutuhkan teknik ketelitian yang tinggi.



Gambar 2.10 Teknik Ekstraksi Menggunakan Pelarut dan Teknik Pemisahan Minyak
(Faiers, 2008; Pranowo, 2014)

2.8.3 Karakteristik Minyak Kemiri Sunan

Biji kemiri sunan yang langsung dipres akan memperoleh minyak kasar sekitar 30% berwarna coklat kehitaman dan bungkil sekitar 70% berwarna putih kecoklatan. Namun jika biji dikupas terlebih dahulu, daging dan kernelnya dikeringkan hingga kadar air berkurang menjadi 7% lalu dipres maka minyak kasar yang diperoleh yaitu 53% berwarna kuning jernih dan 47% bungkil berwarna putih (Herman dan Pranowo, 2009).

Di dalam minyak kemiri sunan ada kandungan asam α -oleostearat yang kadarnya mencapai 50%, selain asam tersebut yang beracun minyak ini juga mengandung asam-asam dari senyawa trigiselida antara lain asam palmiat, asam linoleat dan asam lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 2.5. Asam tersebut mempunyai potensi besar untuk bahan baku industri oleokimia dan biopestisida dengan hasil samping antara lain kulit buah, bungkil, dan gliserol yang nantinya dapat dijadikan sebagai bahan baku sabun, briket, biogas dan pupuk organik. Berikut adalah minyak kemiri sunan murni yang dihasilkan pada Gambar 2.11

Selain berpotensi sebagai bahan bakar biodiesel sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN) yang digerakkan oleh Pemerintah sebagai energi terbarukan (*renewable energy*), minyak kemiri sunan juga berpotensi dijadikan sebagai alternatif minyak isolasi transformator. Ada beberapa aspek yang mendasari minyak ini dapat dijadikan minyak transformator mengacu pada SPLN 49-1 Tahun

1982. Beberapa aspek karakteristik minyak kemiri sunan yang memenuhi antara lain densitas (massa Jenis) dan titik nyala. Kedua aspek ini nilainya menurut standart massa jenis sebesar $\leq 0,895 \text{ gr/cm}^3$, minyak kemiri sunan sebesar $0,89 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan untuk titik nyala sesuai standart sebesar 140° C , yang dimiliki minyak kemiri sunan sebesar 140° C . Karakteristik kimia dan fisika minyak kemiri sunan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.6.



Gambar 2.11 Minyak Kemiri Sunan Murni

Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak Kemiri Sunan

| Jenis Asam Lemak | Komposisi (%) |
|----------------------------|---------------|
| Asam α -oleostearat | 50 |
| Asam linoleat | 19,00-12,31 |
| Asam oleat | 10-12 |
| Asam palmitat | 8,32-10 |
| Asam behenat | 4,7-9,00 |
| Asam stearat | 3,73 |
| Asam palmitoleat | 1,28 |
| Asam linoleat | 0,29 |
| Asam miristat | 0,01 |

(Sumber Vossen dan Umali, 2002; Berry *et al.*, 2009; Pranowo *et al.*, 2015)

Tabel 2.6 Karakteristik Sifat Fisika dan Kimia Minyak Kemiri Sunan

| Parameter | Satuan | Nilai |
|------------------------------------|--------------------|------------|
| Densitas (25° C), | g/ml | 0,89-0,94 |
| Viskositas | cSt | 14,8-68,75 |
| Titik Nyala | $^\circ \text{ C}$ | 110-140 |
| Bilangan Asam | mg KOH/g | 1,3-19,72 |
| Bilangan peroksida | Meq O/100 g | 13,46 |
| Bilangan Iod | mg I/100 g | 122-160 |
| Bilangan Penyabun | mg KOH/g | 192-201 |
| Titik Leleh | $^\circ \text{ C}$ | 2-4 |
| Titik Beku | $^\circ \text{ C}$ | -6,5 |

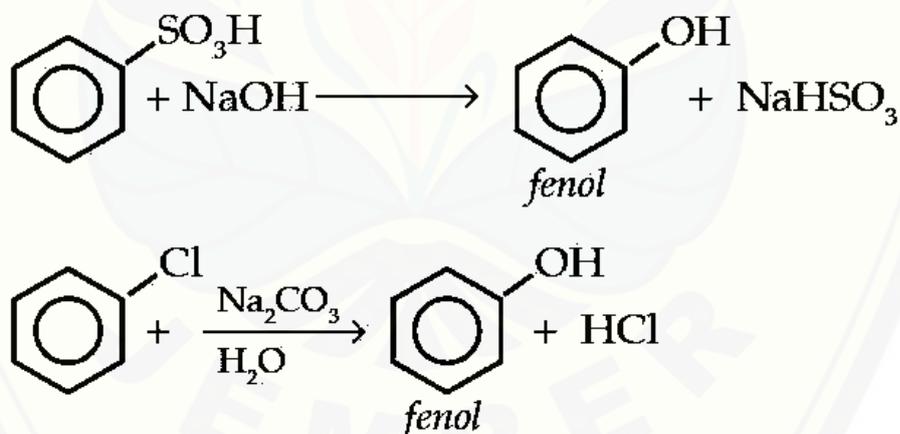
(Sumber Vossen dan Umali, 2002; Berry *et al.*, 2009; Pranowo *et al.*, 2015)

2.9 Zat Aditif Fenol

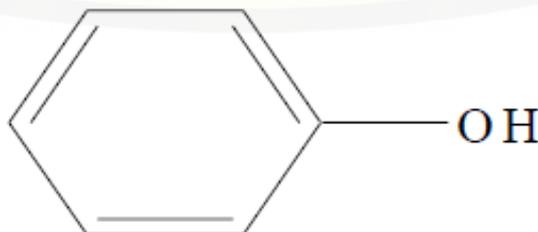
Fenol merupakan senyawa organik yang memiliki gugus hidroksil (-OH) terikat pada atom karbon dalam struktur cincin benzena. Fenol tidak sama dengan alkohol, karena pengaruh cincin aromatik maka fenol bersifat asam, fenol memiliki rumus kimia C_6H_5OH . Fenol ini mampu bereaksi dengan air (Supriyanto dkk., 2011).



Gugus OH pada fenol merupakan kation yang baik namun radikal yang terjadi dapat mempengaruhi kereaktifan yang rendah sehingga menghambat terjadinya proses oksidasi. Cincin aromatik merupakan antioksidan yang efektif jika bertemu gugus OH. Produk radikal yang dihasilkan senyawa ini menjadi stabil dan tidak reaktif. Fenol terbentuk melalui peleburan garam asam sulfonat dengan natrium hidroksida yang nantinya membentuk garam natrium dari fenol, fenol terbebas jika ditambahkan asam sulfat. Fenol dibuat dengan memanaskan asam benzena sulfonat dalam alkali atau memanaskan halogen benzena dalam alkali.



Gambar 2.12 Struktur Reaksi Pembuatan Fenol (Sumber: Pangajuanto, 2009)



Gambar 2.13 Struktur Kimia Aditif Fenol (Sumber: Fessenden, 1992)

Sifat-sifat fenol dibagi menjadi tiga macam yaitu sifat fisika, kimia dan listrik antara lain:

a. Sifat fisika

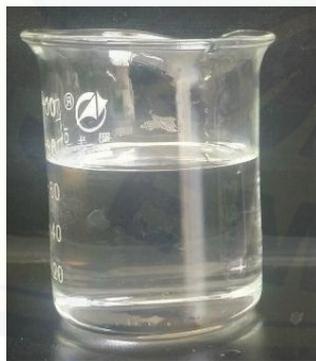
1. Mudah terbakar, korosif dan bentuknya cair ada juga yang padat
2. Titik beku sebesar 42°C dan titik didih 182°C
3. Berat molekul 94,11 gr/ dan kerapatan 1.057 gr/ml
4. Larut dalam bensol, air dingin (25°C) dan acetone

b. Sifat Kimia

1. Mengandung senyawa hidrokarbon antara lain senyawa aromatik sebagai penghambat oksidasi dan penjaga kestabilan. Jika terlalu banyak akan mengurangi kekuatan dielektrik (Adibah, 2016).
2. Bersifat asam dan larut dalam air
3. Terbuat dari kumena salah satu komponen yang ada di minyak mentah
4. Termasuk dalam ikatan polar

c. Sifat Listrik

Fenol termasuk asam lemah yang memberikan proton (ion H^+) pada zat lainnya (yang disebut basa) serta juga dapat menerima pasangan ion elektron bebas dari suatu basa. Asam yang bereaksi dengan basa akan membentuk garam sebagai penetralan.



a. Fenol Cair

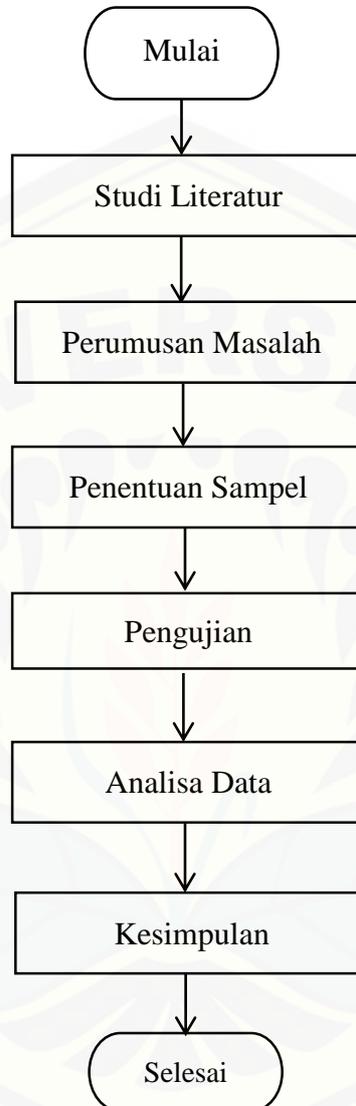


b. Fenol Padat

Gambar 2.14 Zat Aditif Fenol

(sumber:<https://argentinasinvacunas.files.wordpress.com/2016/06/phenol.jpg>)

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam menyusun penelitian tentang Studi Karakteristik Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya dengan Penambahan Aditif Fenol ini terdapat berbagai macam tahapan antara lain:

a) Studi literatur

Dilakukan agar peneliti lebih memahami cara-cara pengujian di laboratorium, tujuan dan apa saja peralatan yang diperlukan dalam pengujian serta mencari

referensi bagaimana pengaruh karakteristik minyak kemiri sunan setelah penambahan aditif fenol. Studi literatur ini dikhususkan untuk mencari referensi yang ada di buku-buku acuan, skripsi dengan topik sejenis maupun jurnal-jurnal nasional maupun internasional.

b) Perumusan masalah

Perumusan masalah yaitu merumuskan mengenai masalah-masalah yang ada pada karakteristik minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya serta kelayakan minyak kemiri sunan digunakan sebagai minyak transformator.

c) Penetapan sampel

Bahan yang akan diuji untuk diambil pengambilan data percobaan, dalam hal ini sampel yang digunakan adalah minyak kemiri sunan dengan jumlah lima buah sampel berupa minyak kemiri sunan murni maupun dengan penambahan aditif fenol.

d) Pengujian

Data-data karakteristik penelitian diperoleh dari pengujian di laboratorium uji, data-data yang diuji dan diperoleh antara lain:

- 1) Karakteristik fisis minyak kemiri sunan antara lain viskositas, massa jenis dan kejernihan
- 2) Sifat elektris dari minyak kemiri sunan yaitu tegangan tembus

e) Analisis Data Hasil Pengujian

Pada tahap ini dari data hasil pengujian yang diperoleh dari hasil uji di laboratorium selanjutnya disajikan dengan tampilan tabel dan grafik untuk memudahkan analisa dan selanjutnya dibuat pembahasan.

f) Penulisan Laporan dan Kesimpulan

Penulisan laporan dilakukan setelah data dianalisa. Kemudian data diolah berdasarkan teori yang ada sehingga dapat menghasilkan kesimpulan kelayakan minyak kemiri sunan menjadi alternatif minyak transformator daya.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam pengerjaan penelitian ini diperlukan beberapa peralatan dan bahan antara lain dapat dilihat pada Gambar 3.2 sampai Gambar 3.12 sebagai berikut:

A. Alat:

| Alat | Kegunaan | Tempat |
|---|---|---|
|  | <p>Mengukur massa minyak kemiri sunan yang di tempatkan pada piknometer maupun untuk mengukur massa piknometer yang kosong, dari hasil ukur antara massa piknometer yang berisi minyak kemiri sunan dengan massa piknometer kosong untuk mencari selisih hasil ukurnya. Timbangan ini dilengkapi dengan <i>detector</i> sehingga hasil timbang langsung muncul.</p> | <p>Laboratorium Kimia Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Jember</p> |
| <p>Gambar 3.2 Timbangan Analitik</p> | | |
|  | <p>Berfungsi untuk mengukur massa jenis minyak kemiri yang volumenya sekitar 25 ml sekaligus sebagai wadah yang nantinya diukur dengan timbangan analitik</p> | <p>Laboratorium Kimia Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Jember</p> |
| <p>Gambar 3.3 Piknometer</p> | | |
|  | <p>Sebagai wadah untuk mengukur volume dari minyak kemiri yang akan ditimbang sesuai dengan yang diinginkan satuan dari gelas beker ini satuannya ml (milliliter).</p> | <p>Laboratorium Kimia Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Jember</p> |
| <p>Gambar 3.4 Gelas Beker</p> | | |



Untuk mengukur laju alir minyak dalam satuan sekon dari titik atas ke titik bawah yang tingginya 30 mm.

Laboratorium
Farmasetika
Fakultas Farmasi
Universitas
Jember

Gambar 3.5 Viskometer Ostwald



Digunakan untuk wadah minyak/sampel uji dalam pengujian tegangan tembus

Laboratorium
Tegangan Tinggi
Departemen
Teknik Elektro
Fakultas
Teknologi Elektro
Institut Teknologi
Sepuluh
Nopember
Surabaya

Gambar 3.6 Kotak Uji



Berdiameter 50 mm bentuk dari elektrodanya setengah bola sebagai media pengujian tegangan tembus

Laboratorium
Tegangan Tinggi
Departemen
Teknik Elektro
Fakultas
Teknologi Elektro
Institut Teknologi
Sepuluh
Nopember
Surabaya

Gambar 3.7 Elektroda Uji



Peralatan pengujian tegangan tembus modul pembangkit tegangan AC (bolak-balik)

Laboratorium
Tegangan Tinggi
Departemen
Teknik Elektro
Fakultas
Teknologi Elektro
Institut Teknologi
Sepuluh
Nopember
Surabaya

Gambar 3.8 Alat Uji



Digunakan untuk menaikkan tegangan dimulai dari 0 V sampai sekitar $2,0 \text{ kV s}^{-1} \pm 0,2 \text{ kV s}^{-1}$ sampai timbul tegangan tembus

Laboratorium
Tegangan Tinggi
Departemen
Teknik Elektro
Fakultas
Teknologi Elektro
Institut Teknologi
Sepuluh
Nopember
Surabaya

Gambar 3.9 Penaik Tegangan



Mengetahui tingkatan warna kejernihan sampel yang ditunjukkan dalam skala uji dari 0,5-8,0

Laboratorium
Penguujian Minyak
PT PJB Unit
Pembangkit
Gresik

Gambar 3.10 ASTM Color Scale

B. Bahan

Bahan

Kegunaan



Sebagai sampel uji yang nantinya akan diteliti karakteristiknya dengan 4 parameter antara lain massa jenis, viskositas, kejernihan dan tegangan tembus

Gambar 3.11 Minyak Kemiri Sunan



Sebagai bahan aditif tambahan untuk mengoptimalkan hasil uji untuk memperbaiki karakteristik parameter sampel uji

Gambar 3.12 Fenol Padat

3.4 Penetapan Sampel

Dalam penelitian ini sampel yang akan diuji berjumlah 5 buah. Diantaranya satu sampel minyak kemiri sunan murni dan empat sampel lainnya berupa minyak kemiri sunan dengan penambahan aditif fenol. Untuk komposisi sampel uji dapat dilihat Pada Gambar 3.13 sampai Gambar 3.17 Berikut:

| Jenis Sampel | Keterangan |
|---|---|
|  | Sampel minyak kemiri sunan tanpa penambahan aditif fenol (fenol 0 ml) |
| Gambar 3.13 Sampel Minyak Kemiri Sunan Tanpa Penambahan Fenol | |
|  | Sampel minyak kemiri sunan dengan penambahan aditif fenol sebesar 25 ml |
| Gambar 3.14 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 25 ml | |
|  | Sampel minyak kemiri sunan dengan penambahan aditif fenol sebesar 50 ml |
| Gambar 3.15 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 50 ml | |



Sampel minyak kemiri sunan dengan penambahan aditif fenol sebesar 75 ml

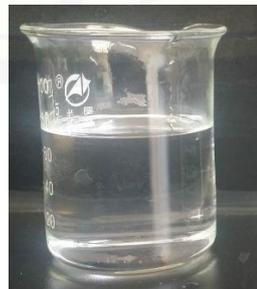
Gambar 3.16 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 75 ml



Sampel minyak kemiri sunan dengan penambahan aditif fenol sebesar 100 ml

Gambar 3.17 Sampel Minyak Kemiri Sunan Penambahan Fenol 100 ml

Dari gambar diatas sampel minyak kemiri sunan ditambah dengan aditif fenol masing-masing 25 ml, 50 ml, 75 ml dan 100 ml. Fenol dalam penelitian ini berbentuk padat, untuk memperoleh dalam bentuk cair supaya dapat dicampur dengan minyak kemiri sunan murni yaitu dengan cara dipanaskan dengan air (air tidak dicampur dengan fenol) sampai fenol dalam bentuk cair seperti yang tertera pada Gambar 3.18 selanjutnya barulah ditakar sesuai kebutuhan.



Gambar 3.18 Fenol dalam Bentuk Cair

3.5 Prosedur Pengujian

Untuk memudahkan dalam pengambilan data-data pengujian, maka diperlukan prosedur yang jelas agar penelitian tidak terjadi kesalahan. Berikut adalah prosedur pengujian yang dilakukan di keempat laboratorium uji antara lain yaitu:

a. Tegangan Tembus

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

1. Persiapan Sampling

Mempersiapkan minyak kemiri sunan murni tanpa campuran aditif fenol dan minyak kemiri sunan setelah penambahan aditif fenol total sampling ada 5 sampel. Elektroda yang digunakan dalam pengujian adalah setengah bola dengan diameter 50 mm dan jarak sela 2,5 mm.

2. 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. Volume dari minyak yang akan diuji harus melewati paling tidak diatas elektroda yang akan digunakan untuk pengujian.

3. Pemberian Tegangan

Berikan tegangan pada elektroda dengan kenaikan yang seragam (konstan) dimulai dari 0 V sampai sekitar $2,0 \text{ kV s}^{-1} \pm 0.2 \text{ kV s}^{-1}$ sampai timbul tegangan tembus. Setelah terjadi tembus tegangan segera turukan tegangan agar tidak merusak peralatan uji.

4. Pencatatan data

Lakukan 6 kali percobaan tegangan 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. Uji data tegangan tembus secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengujian Tegangan Tembus

| Suhu minyak (°C) | Jumlah Fenol (ml) | Tegangan Tembus (kV) | | | | | | Rata-rata Tegangan Tembus (kV) |
|------------------|-------------------|----------------------|---|---|---|---|---|--------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 30 | 0 | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | |
| | 50 | | | | | | | |
| | 75 | | | | | | | |
| | 100 | | | | | | | |
| 70 | 0 | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | |
| | 50 | | | | | | | |
| | 75 | | | | | | | |
| | 100 | | | | | | | |
| 80 | 0 | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | |
| | 50 | | | | | | | |
| | 75 | | | | | | | |
| | 100 | | | | | | | |
| 90 | 0 | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | |
| | 50 | | | | | | | |
| | 75 | | | | | | | |
| | 100 | | | | | | | |
| 100 | 0 | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | |
| | 50 | | | | | | | |
| | 75 | | | | | | | |
| | 100 | | | | | | | |

b. Prosedur Pengujian Viskositas

Merupakan tahanan dari aliran cairan yang mengalir secara kontinyu tanpa adanya gesekan dari gaya-gaya lain. Sebagai isolasi khususnya media pendingin viskositas menjadi nilai yang terpenting karena aliran konveksinya dapat memindahkan panas dan menjaga suhu media tetap stabil. Makin rendah viskositas maka konduktivitas termalnya semakin bagus sehingga kualitas dari minyak transformator semakin baik. Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai viskositas:

$$\mu = \frac{\pi p r^4 t}{V l} \quad V = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

μ = viskositas (cSt)

P = tekanan (atm)

t = lamanya aliran (s)

v = volume cairan yang mengalir (ml)

l = panjang/tinggi tabung (mm)

r = jari-jari tabung (mm)

ρ = massa jenis (gr/cm^3)

1 St = 100 cSt

Data karakteristik alat dan tabel uji penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4. Menurut SPLN 49-1 Tahun 1982 untuk minyak isolasi baru harus memenuhi standart dengan nilai viskositas pada suhu 20° C untuk kelas 1 sebesar ≤ 25 cSt sedangkan untuk kelas 2 sebesar ≤ 40 cSt. Pengujian viskositas masing-masing sampel dilakukan pengulangan pengukuran untuk mendapatkan data yang valid dan nantinya dari ketiga pengulangan pengukuran dirata-rata.

Tabel 3.3 Data Karakteristik alat

| No | Parameter | Nilai |
|----|-----------------------------|---------|
| 1 | Volume Cairan yang Mengalir | ... ml |
| 2 | Tinggi Viskometer | ... mm |
| 3 | Tekanan | ... atm |
| 4 | Jari-jari | ... mm |

Tabel 3.4 Data Pengujian Viskositas Kinematik Beberapa Variasi Fenol Pada Suhu Standart 20° C

| Jumlah Fenol (ml) | Waktu Laju Alir (sekon) | | | Viskositas 20° C (cSt) |
|-------------------|-------------------------|---|---|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 0 | | | | |
| 25 | | | | |
| 50 | | | | |
| 75 | | | | |
| 100 | | | | |

c. Prosedur Pengujian Massa Jenis

Pengujian massa jenis dilakukan pada sampel minyak kemiri sunan murni dan minyak kemiri sunan setelah ditambahkan beberapa variasi aditif fenol. Untuk mendapatkan nilai massa jenis diperlukan parameter yaitu massa dan volume benda yang diukur. Dan massa jenis untuk minyak isolasi baru sesuai standart SPLN 49-1 Tahun 1982 yaitu sebesar $\leq 0,895 \text{ gr/cm}^3$, data penelitian dapat dilihat pada tabel 3.5 sampai 3.7. Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan nilai massa jenis:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

ρ = massa Jenis (gr/cm^3)

m = massa benda (gr)

v = volume benda (ml/cm^3)

Tabel 3.5 Parameter Untuk Menentukan Massa Jenis

| Parameter | Benda yang digunakan | nilai |
|-----------|----------------------|-------|
| Massa | Piknometer | ...gr |
| Volume | Gelas Beker | ...ml |

Tabel 3.6 Data Pengujian Massa

| Jumlah Fenol (ml) | Massa (gr) | | |
|-------------------|------------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 0 | | | |
| 25 | | | |
| 50 | | | |
| 75 | | | |
| 100 | | | |

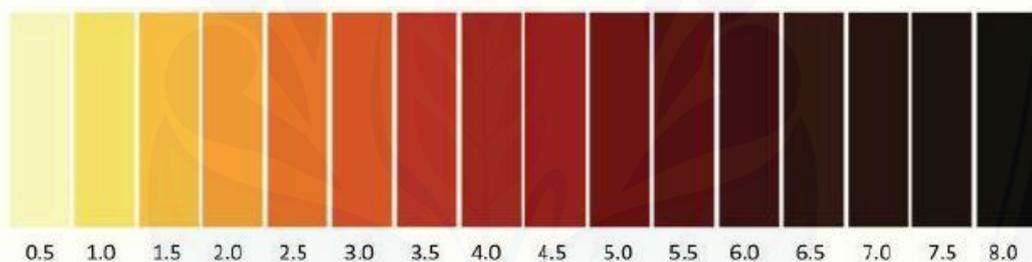
Tabel 3.7 Data Pengujian Massa Jenis

| Jumlah Fenol (ml) | Massa Jenis (gr/cm^3) | | | Rata-rata Massa Jenis (gr/cm^3) |
|-------------------|----------------------------------|---|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 0 | | | | |
| 25 | | | | |
| 50 | | | | |
| 75 | | | | |
| 100 | | | | |

d. Prosedur Pengujian Kejernihan

Pengujian ini dilakukan dengan melihat karakteristik tingkatan warna yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Kejernihan/warna yang diperbolehkan sesuai SPLN 49-1 Tahun 1982 maksimal < 5. Berikut langkah-langkahnya:

1. Masukkan atau tuangkan minyak kemiri sunan ke dalam gelas uji kurang lebih sebanyak 20 ml.
2. Masukkan gelas uji tadi ke dalam alat ASTM *Color Scale*
3. Amati dan lihat ke dalam alat tersebut serta cocokkan antara sebelah kiri merupakan skala warna dan sebelah kanan merupakan warna minyak.
4. Putar skala hingga warna keduanya sama. Maka dalam alat tersebut otomatis muncul angka skala yang tertera.
5. Lakukan langkah-langkah tersebut diatas hingga sebanyak 5 sampel minyak. Dan tulis hasilnya uji pada Tabel 3.8.



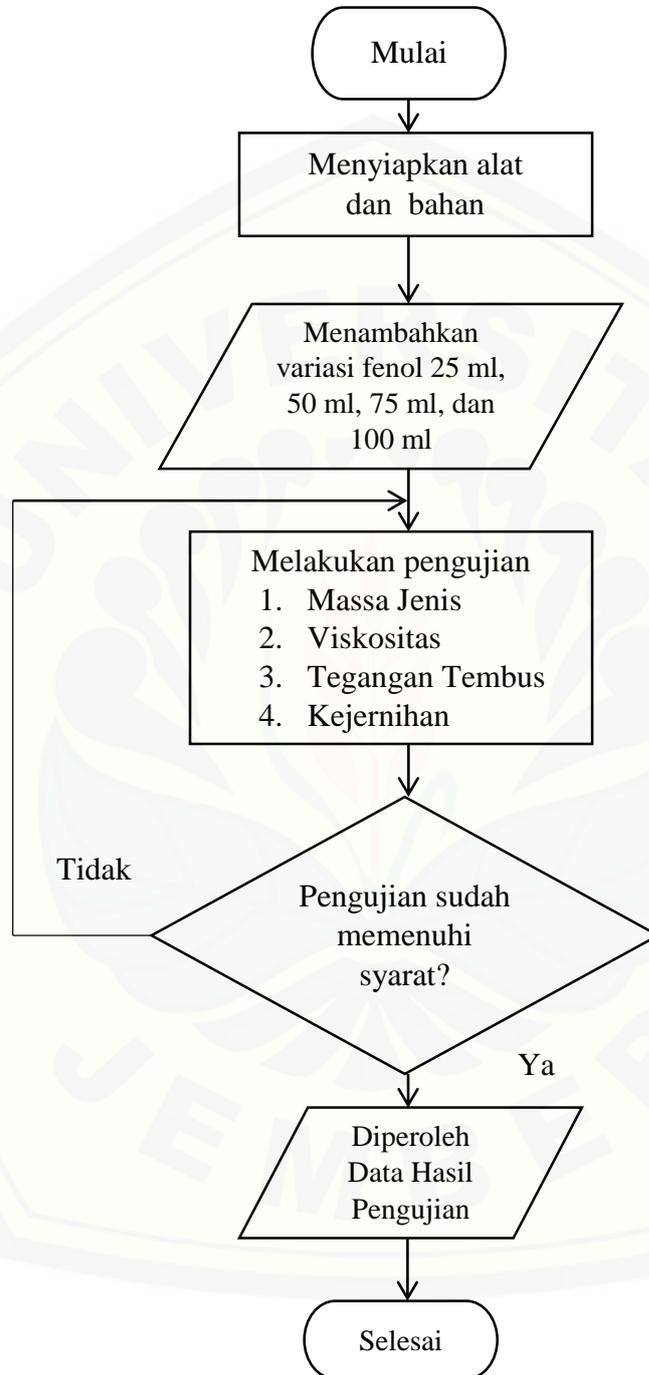
Demonstrative ASTM D1500 color scale

Gambar 3.19 Tingkatan Warna Menurut Standart ASTM D 1500

Tabel 3.8 Parameter Kejernihan Minyak Kemiri Sunan

| Variasi Fenol (ml) | Skala Uji |
|-----------------------|-----------|
| 0 | |
| 25 | |
| 50 | |
| 75 | |
| 100 | |

3.6 Flowchart Pengujian



Gambar 3.20 Diagram Alir Pengujian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan data karakteristik yang didapat dapat diperoleh kesimpulan diantaranya:

1. Penambahan Fenol terhadap karakteristik fisika berupa massa jenis cenderung menaikkan nilainya semakin besar penambahan fenol maka massa jenisnya juga semakin besar, massa jenis minyak kemiri sunan murni massa jenisnya sebesar $0,874390667 \text{ gram/cm}^3$ dan massa jenis tertinggi yaitu saat penambahan fenol 100 ml nilainya sebesar $0,8888 \text{ gram/cm}^3$. Sedangkan untuk nilai viskositas kinematiknya cenderung menurun yaitu ketika penambahan fenol 50 ml sebesar $5,055730339 \text{ cSt}$ dan ketika ditambahkan dengan fenol 100 ml turun menjadi $4,851001981 \text{ cSt}$. Penambahan aditif fenol terhadap karakteristik kejernihan minyak kemiri sunan tidak menghasilkan perubahan warna maupun endapan, skala uji tetap pada angka 0,5 berwarna kuning bening.
2. Penambahan fenol memperbaiki tegangan tembus kemiri sunan semakin besar kadar fenol yang ditambah maka semakin baik tegangan tembusnya ini terjadi saat penambahan fenol 75 ml pada suhu uji 100° C sebesar $29,33333 \text{ kV/2,5 mm}$ saat penambahan fenol 100 ml sebesar 31 kV/2,5 mm . sedangkan untuk tegangan tembus minyak kemiri sunan murni hanya sebesar $23,5 \text{ kV/2,5 mm}$
3. Berdasarkan parameter pengujian yang didapat, minyak kemiri sunan berpotensi sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya. Karena karakteristik terbaik ketika penambahan fenol dengan kadar 100 ml, tegangan tembus telah melewati batas minimal yaitu mencapai sebesar 31 kV/2,5 mm , standart SPLN 49-1: 1982 sebesar $\geq 30 \text{ kV/2,5 mm}$, untuk nilai massa jenis tertinggi sebesar $0,8888 \text{ gram/cm}^3$ masih dibawah batas maksimal SPLN 49-1: 1982 yaitu $\leq 0,895 \text{ gram/cm}^3$. Viskositas kinematiknya nilai tertinggi sebesar $5,204890819 \text{ cSt}$ masih memenuhi standart uji SPLN 49-1: 1982 yaitu $\leq 25 \text{ cSt}$. Kejernihan saat pengujian skala ujinya 0,5 masih dibawah standart ASTM D 1500 yaitu kurang dari 5.

5.2 Saran

Berdasarkan Penelitian minyak kemiri sunan yang dilakukan dengan 4 parameter pengujian diantaranya tegangan tembus, massa jenis, viskositas dan kejernihan terhadap variasi fenol. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka perlu lebih lanjut dilakukan penelitian mengenai karakteristik kimia seperti kadar asam dan kadar air maupun fisika lainnya seperti titik tuang dan titik nyala.



DAFTAR PUSTAKA

- Adeolu, O., dan I. A., A. 2014. Breakdown Voltage Characteristics of Castor Oil as Alternative to Transformer Insulation Oil. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*. 2(4): 2347-3878.
- Adibah, Farah. 2016. Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum Dengan Variasi Fenol. *Skripsi*. Jember: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Anang. 2012. Uji Tegangan Tembus Minyak Jarak Sebelum dan Sesudah Proses Destilasi Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya. *Skripsi* Jember: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Anishek, S., S.R, J. K. J, P, dan M. Kamath 2016. Performance Analysis and Optimisation of an Oil Natural Air Natural Power Transformer Radiator. *Procedia Technology ScienceDirect*. 24: 428-435.
- Budiyantoro, Eko., Abdul Syakur, dan M. Facta. 2010. Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dibyoy, Pranowo. 2014. *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma Blanco Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping: Karakteristik Minyak Kemiri Sunan*. Jakarta: IAARD Press.
- Egbuna, S.O., Ude, O.C., dan Ude, C.N. 2016. Castor Seed Bio -Transformer Oil As An Alternative To Conventional Transformer Oil. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT)*. 5(10): 2016.
- H. Fukuda. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *J. Biosci. Bioeng*. 92. 405-416.

- Junaidi, Alfian. 2008. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair. *Teknoin*. 13(2): 1-5.
- Kurrahman, Harief Taufik., dan Syamsir Abduh. 2016. Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator daya. *JE Tri*. 13(2): 11-28.
- Marsudi, Djiteng, 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Bandung :Erlangga.
- Martono, Andi., Juningtyastuti, dan Abdul Syakur. 2013. Analisis Karakteristik Dielektrik Minyak Hidrolik Sebagai Alternatif Isolasi Cair Untuk Transformator Daya. *Transmisi*. 15(2): 74-78.
- Masarakall, H. V., D. C. Sikdar, S. B. Madalageri, M. R. Nitture, dan J. C. Naidu. 2015. Development of New Dielectric Liquid from Pongamia Oil as Alternative For Transformer Oil. *International Journal of Technical Research and Applications (IJTRA)*. 3(4): 304-309.
- Matharage, B. S. H. M. S. Y., M. A. R. M. Fernando, M. A. A. P. Bandara, G. A. Jayantha, dan C. S. Kalpage. 2013. Performance of Coconut Oil as an Alternative Transformer Liquid Insulation. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 20(3): 887-897.
- Menkiti, M. C., C.M. Agu, P.M. Ejikeme, dan O.E. Onyelucheya. 2017. Chemically Improved *Terminalia catappa* L. oil: A possible renewable substitute for conventional mineral transformer oil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5: 1107-1118.
- N.S., Djenar, dan Lintang, N. 2012. Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (*Aleurites Trisperma*) Dalam Pembuatan Biodiesel. *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik ISSN 1411 – 0903*. 13(3): 215-221.
- Panggabean, Samuel. 2008. Pengaruh Suhu Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator. *Skripsi*. Medan: Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

Perusahaan Listrik Negara (PLN), 1982 *Minyak Isolasi Transformator*. Jakarta: SPLN 49-1 Tahun 1982.

Pranowo, Dibyo., Maman Hermawan dan Syafaruddin. 2015. Potensi Pengembangan Kemiri Sunan (*Reutealis Trisperma* (Blanco) Airy Shaw) Di Lahan Terdegradasi. *Perspektif*. 14(2): 87-101.

Sayogi, Hanung. 2010. Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Setiawan, M. I. G., dan I. Garniawa. 2013. Analisis Kondisi Minyak Berdasarkan Uji Parameter Utama. *FT UI*. 1: 1-19.

Syakir, M. dan Elna Karmawati. 2015. *Tanaman Perkebunan Penghasil BBN*. Jakarta: Perspektif Puslitbang Perkebunan

Syakur, Abdul., dan Mochammad Facta. 2005. Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. *Transmisi*. 10(2): 26-29.

Supriyanto, David., Abdul Syakur, dan Ir. Agung Nugroho. 2011. Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Sebelum Dan Sesudah Di Purifikasi Dengan Fenol. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Umiati, Ngurah Ayu Ketut. 2009. Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektroda Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektroda Dan Temperatur. *Transmisi Jurnal Elektro*. 11(1): 23-36.

Wibowo, Wahyu Kunto. 2010. Analisis Karakteristik *Breakdown Voltage* Pada Dielektrik Minyak *Shell Diala B* Pada Suhu 30°C-130°C. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Massa Jenis

Rumus massa jenis:

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

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

Massa Piknometer = 22,627 gram

Volume piknometer = 25 ml

- Minyak kemiri sunan tanpa fenol

1. Massa piknometer berisi minyak = 44,4889 gram

$$\rho = \frac{44,4889 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,874476 \text{ gram/cm}^3$$

2. Massa piknometer berisi minyak = 44,4834 gram

$$\rho = \frac{44,4834 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,874256 \text{ gram/cm}^3$$

3. Massa piknometer berisi minyak = 44,488 gram

$$\rho = \frac{44,488 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,874440 \text{ gram/cm}^3$$

Rata-rata Massa Jenis tanpa fenol

$$\rho = \frac{0,874476 + 0,874256 + 0,874440}{3}$$

$$\rho = 0,874390667 \text{ gram/cm}^3$$

- Minyak kemiri sunan dengan variasi fenol 25 ml

1. Massa piknometer berisi minyak = 44,5909 gram

$$\rho = \frac{44,5909 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,878556 \text{ gram/cm}^3$$

2. Massa piknometer berisi minyak = 44,5929 gram

$$\rho = \frac{44,5929 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,878636 \text{ gram/cm}^3$$

3. Massa piknometer berisi minyak = 44,5948 gram

$$\rho = \frac{44,5948 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,878712 \text{ gram/cm}^3$$

Rata-rata Massa Jenis variasi fenol 25 ml

$$\rho = \frac{0,878556 + 0,878636 + 0,878712}{3}$$

$$\rho = 0,878634667 \text{ gram/cm}^3$$

- Minyak kemiri sunan dengan variasi fenol 50 ml

1. Massa piknometer berisi minyak = 44,6558 gram

$$\rho = \frac{44,6558 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,881152 \text{ gram/cm}^3$$

2. Massa piknometer berisi minyak = 44,656 gram

$$\rho = \frac{44,656 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,88116 \text{ gram/cm}^3$$

3. Massa piknometer berisi minyak = 44,662 gram

$$\rho = \frac{44,662 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,8814 \text{ gram/cm}^3$$

Rata-rata Massa Jenis variasi fenol 50 ml

$$\rho = \frac{0,881152 + 0,88116 + 0,8814}{3}$$

$$\rho = 0,881237333 \text{ gram/cm}^3$$

- Minyak kemiri sunan dengan variasi fenol 75 ml

1. Massa piknometer berisi minyak = 44,7629 gram

$$\rho = \frac{44,7629 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,885436 \text{ gram/cm}^3$$

2. Massa piknometer berisi minyak = 44,7661 gram

$$\rho = \frac{44,7661 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,885564 \text{ gram/cm}^3$$

3. Massa piknometer berisi minyak = 44,7886 gram

$$\rho = \frac{44,7886 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,886464 \text{ gram/cm}^3$$

Rata-rata Massa Jenis variasi fenol 75 ml

$$\rho = \frac{0,885436 + 0,885564 + 0,886464}{3}$$

$$\rho = 0,885821333 \text{ gram/cm}^3$$

- Minyak kemiri sunan dengan variasi fenol 100 ml

1. Massa piknometer berisi minyak = 44,8471 gram

$$\rho = \frac{44,8471 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,888804 \text{ gram/cm}^3$$

2. Massa piknometer berisi minyak = 44,845 gram

$$\rho = \frac{44,845 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,88872 \text{ gram/cm}^3$$

3. Massa piknometer berisi minyak = 44,8489 gram

$$\rho = \frac{44,8489 - 22,627}{25}$$

$$\rho = 0,888876 \text{ gram/cm}^3$$

Rata-rata Massa Jenis variasi fenol 100 ml

$$\rho = \frac{0,888804 + 0,88872 + 0,888876}{3}$$

$$\rho = 0,8888 \text{ gram/cm}^3$$

B. Perhitungan Viskositas Kinematik

Rumus Viskositas Kinematik

$$\mu = \frac{\pi Pr^4 t}{Vl}$$

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

Volume cairan yang mengalir = 2983 mm²

Tinggi viskometer (l) = 30 mm

Tekanan (P) = 1 atm

Jari-jari (r) = 8 mm

π = 3,14

- Viskositas kinematik minyak kemiri sunan tanpa fenol

1. Waktu laju alir = 35 sekon

$$\rho = 0,874476 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 35}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 5,030175439 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{5,030175439}{0,874476}$$

$$V = 5,752216686 \text{ cSt}$$

2. Waktu laju alir = 32 sekon

$$\rho = 0,874256 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 32}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 4,599017544 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,599017544}{0,874256}$$

$$V = 5,260492972 \text{ cSt}$$

3. Waktu laju alir = 28 sekon

$$\rho = 0,87444 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 28}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 4,024140351 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,024140351}{0,87444}$$

$$V = 4,6019628 \text{ cSt}$$

Rata-rata viskositas Kinematik tanpa fenol

$$V = \frac{5,752216686 + 5,260492972 + 4,6019628 \text{ cSt}}{3}$$

$$V = 5,204890819 \text{ cSt}$$

- Viskositas kinematik minyak kemiri sunan variasi fenol 25 ml

1. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,878556 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,878556}$$

$$V = 5,071160228 \text{ cSt}$$

2. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,878636 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,878636}$$

$$V = 5,070698498 \text{ cSt}$$

3. Waktu laju alir = 32 sekon

$$\rho = 0,878712 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 32}{2983,30}$$

$$\mu = 4,599017544 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,599017544}{0,878712}$$

$$V = 5,233816704 \text{ cSt}$$

Rata-rata viskositas Kinematik dengan variasi fenol 25 ml

$$V = \frac{5,071160228 + 5,0706984981 + 5,233816704}{3}$$

$$V = 5,125225144 \text{ cSt}$$

- Viskositas kinematik minyak kemiri sunan variasi fenol 50 ml

1. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,881152 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,881152}$$

$$V = 5,056219864 \text{ cSt}$$

2. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,88116 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,599017544 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,599017544}{0,88116}$$

$$V = 5,056173959 \text{ cSt}$$

3. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,8814 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,8814}$$

$$V = 5,054797193 \text{ cSt}$$

Rata-rata viskositas Kinematik dengan variasi fenol 50 ml

$$V = \frac{5,056219864 + 5,056173959 + 5,054797193}{3}$$

$$V = 5,055730339 \text{ cSt}$$

- Viskositas kinematik minyak kemiri sunan variasi fenol 75 ml

1. Waktu laju alir = 30 sekon

$$\rho = 0,885436 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 30}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 4,311578947 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,311578947}{0,885436}$$

$$V = 4,869441662 \text{ cSt}$$

2. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,885564 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,885564}$$

$$V = 5,031029091 \text{ cSt}$$

3. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,886464 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983 \cdot 30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,886464}$$

$$V = 5,025921239 \text{ cSt}$$

Rata-rata viskositas Kinematik dengan variasi fenol 75 ml

$$V = \frac{4,869441662 + 5,031029091 + 5,025921239}{3}$$

$$V = 4,975463997 \text{ cSt}$$

- Viskositas kinematik minyak kemiri sunan variasi fenol 100 ml

1. Waktu laju alir = 30 sekon

$$\rho = 0,888804 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 30}{2983,30}$$

$$\mu = 4,311578947 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,311578947}{0,888804}$$

$$V = 4,850989585 \text{ cSt}$$

2. Waktu laju alir = 29 sekon

$$\rho = 0,88872 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 29}{2983,30}$$

$$\mu = 4,167859649 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,167859649}{0,88872}$$

$$V = 4,689733155 \text{ cSt}$$

3. Waktu laju alir = 31 sekon

$$\rho = 0,888876 \text{ gram/cm}^3$$

$$\mu = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot (8)^4 \cdot 31}{2983,30}$$

$$\mu = 4,455298246 \text{ cSt}$$

$$V = \frac{4,455298246}{0,888876}$$

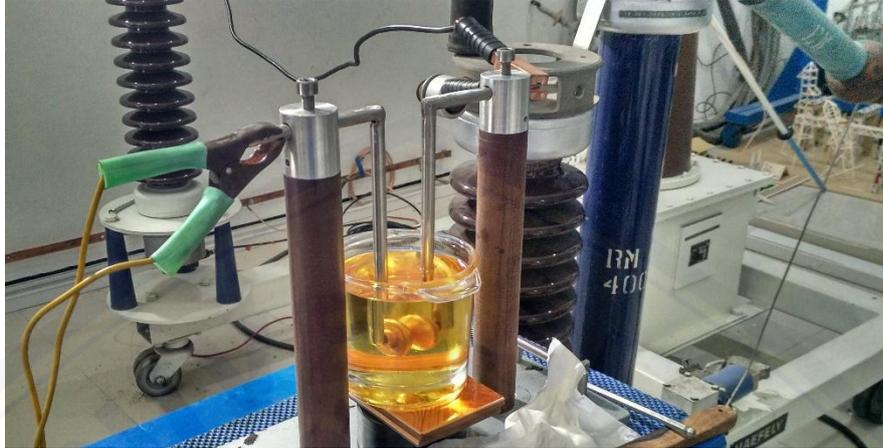
$$V = 5,012283204 \text{ cSt}$$

Rata-rata viskositas Kinematik dengan variasi fenol 100 ml

$$V = \frac{4,850989585 + 4,689733155 + 5,012283204}{3}$$

$$V = 4,851001981 \text{ cSt}$$

Lampiran Dokumentasi Pengujian



Gambar 1 Kotak Uji dan Sampel Uji Tegangan Tembus



Gambar 2 Peralatan Pengujian Tegangan Tembus



Gambar 3 Sampel Uji



Gambar 4 Proses Pengujian Tegangan Tembus



Gambar 5 Piknometer



Gambar 6 Pengujian Massa Jenis



Gambar 7 Pengujian Viskositas Kinematik



Gambar 8 Viskometer



Gambar 9 ASTM Color Scale



Gambar 10 Pengujian Kejernihan