



**KINERJA DIELEKTRIK MINYAK GORENG KELAPA SAWIT DENGAN  
ADITIF FENOL SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR  
TRANSFORMATOR DAYA**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Aldianto Wahyu Ramadhan**  
**NIM 141910201019**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**KINERJA DIELEKTRIK MINYAK GORENG KELAPA SAWIT DENGAN  
ADITIF FENOL SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR  
TRANSFORMATOR DAYA**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh  
**Aldianto Wahyu Ramadhan**  
**NIM 141910201019**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk mencapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Maka dari itu, dengan segala kerendahan hati saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT atas pertolongan, petunjuk serta berkah rahmat-Nya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Junjunganku Nabi Muhammad SAW atas ajaran, syafaat dan cinta kasih sayang kepada umatnya.
2. Bapak Husen Hawiyanto dan Ibu Wahyu Ichtiarini, kedua orang tua saya yang sangat saya cintai, yang telah memberikan segalanya, telah mengajarkan arti kehidupan kepada saya, mencurahkan kasih sayang, memberikan perhatian, memberikan semangat yang tiada hentinya dan telah memberikan dukungan materi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Nenek saya Hawiyah dan Adik saya Kaka Haidar Yusuf yang selalu memberikan semangat serta dukungan melalui doa, dan menghibur ketika saya dalam kesusahan.
4. Kevinaldo Barevan dan Isnaini Nur Mufidah, kedua sahabat terbaik saya yang selalu memberikan motivasi ketika saya mulai patah semangat, yang menolong saya ketika saya terjatuh dan menunggu saya ketika saya tertinggal, yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini serta menjadi alasan saya untuk kembali tertawa bahagia.

**MOTTO**

“Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik.”

**(Ali bin Abi Thalib)**

“Tidak semua yang kamu pertanyakan harus terjawab sekarang, yang terpenting kamu sudah berusaha dan berdoa. Jadi cukupkan saja sabarmu, sebab ilmu yang paling tinggi adalah kesabaran dan keikhlasan. Sisanya, biarkan waktu yang bercerita.”

**(Aldianto Wahyu Ramadhan)**

“Gantungkan cita-citamu setinggi langit. Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang.”

**(Ir. Soekarno)**

“Sekecil apapun, lebih baik menjadi cahaya lilin di tempat yang gelap dibandingkan tidak ada cahaya sama sekali.”

**(Julia Evelyn Morley)**

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aldianto Wahyu Ramadhan

NIM : 141910201019

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul : “Kinerja Dielektrik Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Aditif Fenol Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Maret 2019

Yang menyatakan,

Aldianto Wahyu Ramadhan

NIM 141910201019

**SKRIPSI**

**KINERJA DIELEKTRIK MINYAK GORENG KELAPA SAWIT DENGAN  
ADITIF FENOL SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR  
TRANSFORMATOR DAYA**

Oleh  
Aldianto Wahyu Ramadhan  
NIM 141910201019

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Kinerja Dielektrik Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Aditif Fenol Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya” Karya Aldianto Wahyu Ramadhan telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 27 Maret 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T.  
NIP 196906081999031002

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

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 1964104141989021001

H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT.  
NIP 196403171998021001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik

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



## RINGKASAN

**Kinerja Dielektrik Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Aditif Fenol Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya;** Aldianto Wahyu Ramadhan, 141910201019; 2019; 84 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Transformator daya merupakan peralatan yang vital dalam penyaluran energi listrik dari unit pembangkit menuju sistem jaringan saluran tegangan. Di dalam transformator terdapat minyak isolasi yang berfungsi sebagai pendingin saat transformator beroperasi. Sejauh ini, bahan baku yang digunakan untuk membuat minyak isolasi sebagian besar masih mengandalkan minyak bumi dan bahan-bahan tambang diantaranya yaitu ter, sulfur, logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom dan perak (Marsudi, 2011) yang tidak ramah lingkungan. Untuk itu diperlukan solusi alternatif penggunaan minyak nabati untuk mengurangi penggunaan minyak mineral, salah satunya minyak goreng kelapa sawit. Pada penelitian ini digunakan minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan zat aditif fenol untuk memperbaiki atau meningkatkan kekuatan dielektriknya.

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak goreng kelapa sawit dan zat aditif fenol, dengan komposisi sampel uji yaitu minyak goreng kelapa sawit murni (tanpa penambahan zat fenol) serta minyak goreng kelapa sawit dengan variasi aditif fenol sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%. Dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan zat fenol ke dalam minyak goreng kelapa sawit terhadap kinerja dielektriknya. Kinerja dielektrik yang dimaksud yaitu nilai tegangan tembus dan distribusi medan listrik dengan faktor efisiensi medan listrik pada objek uji dalam susunan elektroda standar (elektroda setengah bola-setengah bola). Dilakukan pengujian tegangan tembus, pengujian massa jenis ( $\rho$ ) dan pengujian permitivitas ( $\epsilon_r$ ) pada masing-masing sampel uji. Untuk simulasi distribusi medan listrik digunakan *software* FEMM 4.2 dengan *input* nilai tegangan tembus dan nilai permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari hasil pengujian, kemudian menentukan faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) berdasarkan nilai kuat medan listrik dari masing-masing sampel uji dalam susunan elektroda standar, serta



mengkaji kelayakan minyak goreng kelapa sawit sebagai alternatif isolasi cair transformator daya berdasarkan nilai tegangan tembusnya.

Dari hasil penelitian, didapatkan nilai tegangan tembus pada minyak goreng kelapa sawit murni sebesar 14,403 kV serta didapatkan nilai tegangan tembus yang telah layak memenuhi dari SPLN 49-1 tahun 1982 ketika penambahan fenol sebesar 15% dan 20%. Ketika penambahan fenol 15% ke dalam minyak goreng kelapa sawit didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 30,436 kV dengan nilai massa jenis sebesar  $0,913 \text{ gr/cm}^3$ , dan ketika penambahan fenol 20% ke dalam minyak goreng kelapa sawit didapatkan nilai tegangan tembus yang semakin meningkat yaitu sebesar 34,446 kV dengan nilai massa jenis sebesar  $0,926 \text{ gr/cm}^3$ . Nilai tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit mengalami kenaikan hingga sebesar 139,16% ketika ditambahkan zat fenol 20% dibandingkan dengan minyak goreng kelapa sawit murni. Untuk distribusi medan listrik dalam susunan elektroda standar yang disimulasikan dengan *software* FEMM 4.2 didapatkan nilai kuat medan listrik rata-rata sebesar 66,3509228 kV/cm dan nilai kuat medan listrik lokal tertinggi sebesar 127,731175 kV/cm serta nilai faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) sebesar 0,5156 pada pengujian minyak goreng kelapa sawit murni dengan nilai permitivitas sebesar 7,42 F/m. Sedangkan, ketika pengujian minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 20% dengan nilai permitivitas sebesar 9,15 F/m didapatkan nilai kuat medan listrik lokal tertinggi sebesar 305,482589 kV/cm dan nilai kuat medan listrik rata-rata sebesar 158,683881 kV/cm serta nilai faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) sebesar 0,5213. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat homogenitas distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm pada pengujian minyak goreng kelapa sawit murni dan minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 5%, 10%, 15% dan 20% adalah medan non-homogen (tidak merata) karena nilai faktor efisiensi medan listriknya ( $\eta$ )  $\leq 1$ .

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Dielektrik Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Aditif Fenol Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya”. 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 berbagai pihak. Oleh karena itu, disampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat-Nya serta memberi kelancaran dan kemudahan atas segalanya, sehingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun kita kepada peradaban manusia yang lebih baik.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu dan meluangkan waktunya, serta memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku dosen penguji utama dan Bapak H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT. selaku dosen penguji anggota yang telah membantu memberikan kritik dan saran yang dapat membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
7. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. selaku Kepala Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah memberikan pengarahan dalam melakukan penelitian ini.

8. Bapak Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium dan Bapak Edy Sutrisno selaku PLP Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember, serta Bapak Ir. Misto, M.Si. yang telah memberikan bantuan dan pengarahan dalam melakukan penelitian ini.
9. Para dosen beserta seluruh staf karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.
10. Kedua orang tua tercinta, Bapak Husen Hawiyanto dan Ibu Wahyu Ichtiarini yang telah mendidik, memberi kasih sayang dan mendoakan saya serta memberi semangat kepada saya dalam mencapai gelar Sarjana.
11. Nenek saya Hawiyah dan Adik saya Kaka Haidar Yusuf yang selalu memberikan semangat serta dukungan melalui doa, dan menghibur ketika saya dalam kesusahan.
12. Sahabat ABDHKN. Kevinaldo Barevan, Isnaini Nur Mufidah, Dwie Putri Donnaro dan M. Haidlir Zulkarnain yang telah melengkapi cerita saya semasa perkuliahan selama ini.
13. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2014 “KETEK UJ”.
14. Seluruh pihak yang belum sempat disebutkan diatas yang telah menyalurkan bantuan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir agar dapat lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan kedepannya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 27 Maret 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PRAKATA .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Transformator .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Transformator Daya.....	5
2.1.2 Jenis Gangguan Internal Pada Transformator.....	7
<b>2.2 Dielektrik Cair .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Sifat-sifat Dielektrik .....	8
2.2.2 Jenis Minyak Isolasi.....	9
2.2.3 Karakteristik Minyak Isolasi.....	11
<b>2.3 Pengukuran Tegangan Tembus (Kekuatan Dielektrik).....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Faktor Efisiensi Medan Listrik.....</b>	<b>15</b>

2.5 Minyak Kelapa Sawit .....	16
2.6 Fenol.....	20
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Studi Literatur .....	24
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.3.1 Alat.....	24
3.3.2 Bahan .....	25
3.4 Persiapan Objek Uji .....	25
3.4.1 Persiapan Kontaminan .....	25
3.4.2 Kondisi Sampel Uji.....	25
3.5 Pengujian Objek Uji .....	28
3.5.1 Pengujian Tegangan Tembus.....	29
3.5.2 Pengujian Massa Jenis .....	32
3.5.3 Pengujian Permittivitas ( $\epsilon_r$ ).....	33
3.6 Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Susunan Elektroda Standar.....	34
3.6.1 Faktor Efisiensi Medan Listrik Pada Susunan Elektroda Standar.....	37
3.7 Estimasi Kuantitas Minyak Goreng Kelapa Sawit Dengan Aditif Fenol Dalam Transformator Daya Distribusi Tegangan 20 kV Pada Daya 100 kVA.....	38
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Pengaruh Fenol Terhadap Minyak Goreng Kelapa Sawit Menurut Analisis Secara Ilmiah.....	39
4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus.....	42
4.2.1 Pengaruh Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Terhadap Tegangan Tembus .....	42
4.2.2 Pengaruh Penambahan Fenol Terhadap Tegangan Tembus Minyak Goreng Kelapa Sawit .....	43



4.2.3 Perhitungan Tegangan Tembus Menggunakan Metode <i>Trendline Linear</i> .....	47
<b>4.3 Hasil Pengujian Massa Jenis</b> .....	<b>50</b>
4.3.1 Pengujian Massa Jenis Pada Minyak Goreng Kelapa Sawit Dengan Variasi Aditif Fenol .....	50
4.3.2 Hubungan Massa Jenis Dengan Variasi Fenol .....	52
<b>4.4 Simulasi Distribusi Medan Listrik</b> .....	<b>52</b>
4.4.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Pada Susunan Elektroda Standar.....	55
4.4.2 Simulasi Distribusi Medan Listrik Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Dengan Penambahan Fenol 5% Pada Susunan Elektroda Standar .....	58
4.4.3 Simulasi Distribusi Medan Listrik Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Dengan Penambahan Fenol 10% Pada Susunan Elektroda Standar .....	61
4.4.4 Simulasi Distribusi Medan Listrik Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Dengan Penambahan Fenol 15% Pada Susunan Elektroda Standar .....	64
4.4.5 Simulasi Distribusi Medan Listrik Minyak Goreng Kelapa Sawit Murni Dengan Penambahan Fenol 20% Pada Susunan Elektroda Standar .....	67
<b>4.5 Analisis Kelayakan MGKS Berdasarkan Nilai Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Isolasi Cair</b> .....	<b>70</b>
<b>4.6 Estimasi Kuantitas Minyak Goreng Kelapa Sawit Dengan Aditif Fenol Dalam Transformator Daya Distribusi Tegangan 20 kV Pada Daya 100 kVA</b> .....	<b>72</b>
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>74</b>
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>79</b>

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Transformator daya.....	6
Gambar 2.2 Struktur hidrokarbon pada minyak mineral .....	10
Gambar 2.3 Suatu bahan isolasi diantara dua elektroda .....	13
Gambar 2.4 Elektroda untuk mengukur tegangan tembus menurut IEC 156 .....	14
Gambar 2.5 Biji buah kelapa sawit sebagai bahan baku minyak kelapa sawit....	17
Gambar 2.6 Pembentukan trigliserida .....	17
Gambar 2.7 Struktur asam lemak jenuh dan tak jenuh .....	18
Gambar 2.8 Struktur kimia fenol .....	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	23
Gambar 3.2 Kondisi sampel uj murni dan variasi fenol .....	26
Gambar 3.3 Elektroda setengah bola-setengah bola sesuai VDE 0370.....	29
Gambar 3.4 Kotak uji ( <i>chamber</i> ) untuk pengujian tegangan tembus.....	29
Gambar 3.5 Rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC .....	30
Gambar 3.6 Diagram alir pengujian tegangan tembus (AC) .....	31
Gambar 3.7 Rangkaian pengujian tegangan tembus.....	31
Gambar 3.8 Pengujian massa jenis .....	33
Gambar 3.9 Pengujian kapasitansi dari bahan dielektrik.....	33
Gambar 3.10 Tampilan halaman kerja dari <i>software</i> FEMM 4.2 .....	34
Gambar 3.11 Menu <i>Problem Definition</i> pada FEMM 4.2 .....	35
Gambar 3.12 Submenu <i>Conductors</i> pada FEMM 4.2 sebagai <i>input</i> tegangan tembus.....	35
Gambar 3.13 Submenu <i>Materials</i> pada FEMM 4.2 sebagai <i>input</i> nilai permitivitas .....	36
Gambar 3.14 Tombol <i>toolbar</i> untuk menjalankan simulasi.....	36
Gambar 3.15 Diagram alir simulasi distribusi medan listrik pada pengujian objek uji menggunakan <i>software</i> FEMM 4.2 .....	37



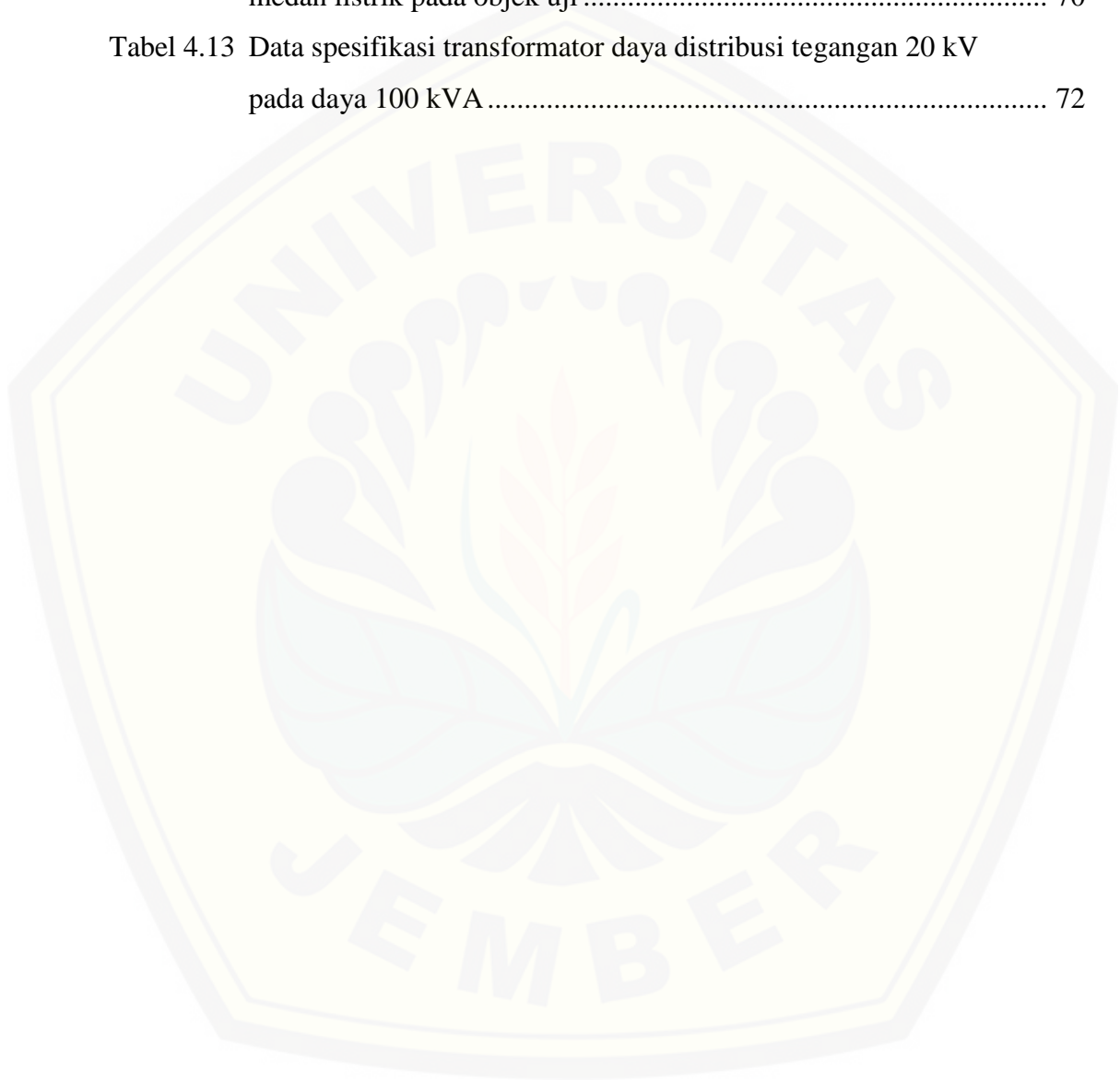
Gambar 3.16	Nameplate transformator daya distribusi tegangan 20 kV pada daya 100 kVA.....	38
Gambar 4.1	Reaksi kimia minyak goreng kelapa sawit dengan fenol.....	39
Gambar 4.2	Sampel uji dengan variasi zat aditif fenol.....	40
Gambar 4.3	Reaksi antioksidan dengan radikal bebas .....	41
Gambar 4.4	Pengujian tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit murni ....	43
Gambar 4.5	Grafik pengaruh aditif fenol pada minyak goreng kelapa sawit.....	44
Gambar 4.6	Grafik persentase kenaikan tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit menggunakan aditif fenol.....	46
Gambar 4.7	Kondisi pengujian tegangan tembus pada objek uji .....	47
Gambar 4.8	Grafik <i>trendline</i> dalam pengujian tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol .....	47
Gambar 4.9	Grafik hubungan persentase fenol terhadap nilai massa jenis minyak goreng kelapa sawit .....	52
Gambar 4.10	Simulasi dengan gambar susunan elektroda standar pada jarak sela 2,5 mm.....	53
Gambar 4.11	Hasil simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit murni .....	55
Gambar 4.12	Grafik kuat medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit murni .....	56
Gambar 4.13	Hasil simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 5% .....	58
Gambar 4.14	Grafik kuat medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 5% .....	59
Gambar 4.15	Hasil simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 10% .....	61

Gambar 4.16	Grafik kuat medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 10% .....	62
Gambar 4.17	Hasil simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 15% .....	64
Gambar 4.18	Grafik kuat medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 15% .....	65
Gambar 4.19	Hasil simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 20% .....	67
Gambar 4.20	Grafik kuat medan listrik pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 20% .....	68
Gambar 4.21	Kelayakan minyak goreng kelapa sawit berdasarkan nilai tegangan tembus .....	71

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi tegangan tembus minyak transformator .....	15
Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak sawit .....	18
Tabel 2.3 Sifat fisika dan kimia minyak goreng kelapa sawit.....	19
Tabel 2.4 Sifat dari fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH).....	20
Tabel 3.1 Komposisi kondisi sampel uji .....	28
Tabel 4.1 Data pengujian tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit murni .	42
Tabel 4.2 Data pengujian penambahan fenol dalam minyak goreng kelapa sawit terhadap tegangan tembus .....	44
Tabel 4.3 Persentase kenaikan tegangan tembus .....	45
Tabel 4.4 Perbandingan hasil pengujian dan perhitungan tegangan tembus .....	49
Tabel 4.5 Data hasil pengujian massa jenis pada minyak goreng kelapa sawit dengan variasi aditif fenol .....	51
Tabel 4.6 Data hasil pengujian permitivitas pada minyak goreng kelapa sawit dengan variasi aditif fenol .....	54
Tabel 4.7 Data kuat medan listrik hasil simulasi pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit murni .....	56
Tabel 4.8 Data kuat medan listrik hasil simulasi pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 5% .....	59
Tabel 4.9 Data kuat medan listrik hasil simulasi pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 10% .....	62
Tabel 4.10 Data kuat medan listrik hasil simulasi pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 15% .....	65

Tabel 4.11 Data kuat medan listrik hasil simulasi pada susunan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 20% .....	68
Tabel 4.12 Data hasil simulasi distribusi medan listrik dan faktor efisiensi medan listrik pada objek uji .....	70
Tabel 4.13 Data spesifikasi transformator daya distribusi tegangan 20 kV pada daya 100 kVA .....	72



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Isolasi cair merupakan suatu media atau bahan berupa zat cair yang digunakan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang memiliki beda tegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan bunga api listrik atau percikan. Sejauh ini, bahan baku yang digunakan untuk membuat minyak isolasi sebagian besar masih mengandalkan minyak bumi dan bahan-bahan tambang diantaranya yaitu ter, sulfur (belerang), logam besi, tembaga, aluminium, titanium, timah, magnesium, krom dan perak (Marsudi, 2011). Penggunaan minyak bumi dan bahan-bahan tambang yang terus-menerus sebagai bahan minyak isolasi transformator dapat menyebabkan kelangkaan serta dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan pada lingkungan, karena bahan-bahan tersebut termasuk energi fosil yang tidak dapat diperbarui dan memiliki sifat *nonbiodegradable* atau sulit dapat terurai kembali.

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan solusi alternatif isolasi cair yang dapat terdegradasi secara sempurna dan bahan organik yang ramah lingkungan, tidak beracun, memiliki titik api tinggi, yaitu minyak nabati. Pemanfaatan sumber daya nabati sebagai penghasil minyak terbarukan yang ramah lingkungan digunakan untuk dapat mengurangi ketergantungan pemakaian akan hasil olahan minyak bumi dan bahan-bahan tambang. Salah satu minyak nabati yang dipilih adalah minyak yang berasal dari biji buah kelapa sawit yang sudah diproses dan mudah didapat, mengingat Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan menghasilkan sekitar 85% hingga 90% dari total produksi minyak sawit dunia (Indonesia Investments, 2017).

Minyak kelapa sawit adalah jenis minyak nabati yang saat ini diselidiki sebagai minyak isolasi cair pengganti alternatif minyak transformator. Berbagai jenis minyak kelapa sawit dapat diekstraksi dari biji buah kelapa sawit seperti CPO (*Crude Palm Oil*) dapat diperoleh dari daging buah sawit. CPO dapat lebih disempurnakan menjadi RBDPO Olein (*Refined Bleached and Deodorized Palm Oil*) melalui fraksinasi proses RBDPO (Sinan, 2014). RBDPO Olein dapat



diperoleh dari produk minyak goreng yang banyak tersedia di pasar tradisional maupun modern (Setiawan, 2017). Penelitian mengenai minyak goreng kelapa sawit sebagai alternatif minyak isolasi sebelumnya menyebutkan minyak dengan kandungan sedikit asam lemak jenuh memiliki tegangan tembus yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang banyak mengandung asam lemak jenuh (Rahardjo, 2005). Kemudian penelitian lainnya menyebutkan tegangan tembus pada minyak goreng kelapa sawit sebesar 22,56 kV pada jarak elektroda 2,5 mm yang artinya minyak kelapa sawit masih belum memenuhi standar sebagai alternatif pengganti minyak isolasi yaitu  $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$  (Irwanto, 2012). Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dielektrik minyak kelapa sawit sebagai alternatif minyak isolasi pada transformator.

Pada penelitian ini akan dianalisis penggunaan fenol sebagai zat aditif pada minyak goreng kelapa sawit, karena fenol merupakan zat antioksidan yang dapat menghambat atau mencegah proses oksidasi dari minyak (Hussin dkk., 2016), sehingga mampu meningkatkan kinerja dielektrik dari minyak transformator. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tegangan tembus, pengujian massa jenis ( $\rho$ ) serta pengujian permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari minyak goreng kelapa sawit dengan variasi aditif fenol, serta akan dilakukan proses simulasi distribusi medan listrik dalam susunan elektroda standar menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2 (*Finite Element Method Magnetics*) dengan *input* nilai tegangan tembus dan nilai permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari masing-masing sampel uji penelitian. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sebuah solusi alternatif dari penggunaan minyak nabati terutama minyak goreng kelapa sawit sebagai alternatif minyak isolasi pada transformator daya atau peralatan tegangan tinggi listrik lainnya di Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan inti masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan zat aditif fenol terhadap tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit?

2. Bagaimana distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol?
3. Bagaimana kelayakan minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol berdasarkan kekuatan dielektriknya sebagai alternatif isolasi cair transformator daya?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian pada bagian yang dianggap penting, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Objek pengujian dalam penelitian ini adalah minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan fenol, serta tidak membahas proses pembuatan dari minyak goreng kelapa sawit.
2. Pengujian karakteristik tegangan tembus disesuaikan dengan standar IEC 156 yaitu menggunakan elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm dan tegangan yang diterapkan untuk pengujian tegangan tembus adalah tegangan AC (bolak-balik) frekuensi rendah 50 Hz.
3. Pengujian permitivitas dilakukan dengan pengukuran kapasitansi menggunakan konduktor keping sejajar ukuran 4,4 cm x 10 cm dengan ukuran wadah sampel uji sebesar (4,4 x 0,8 x 10) cm<sup>3</sup>.
4. Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi dari distribusi medan listrik adalah FEMM 4.2 dengan jarak sela antar elektroda yang digunakan yaitu sebesar 2,5 mm.
5. Untuk penelitian ini tidak melakukan pengujian dan tidak membahas kenaikan suhu, waktu, karakteristik fisika dan karakteristik kimia (tingkat keasaman) pada minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis seberapa besar pengaruh penambahan zat aditif fenol terhadap tegangan tembus pada kualitas minyak goreng kelapa sawit.



2. Menganalisis distribusi medan listrik pada susunan elektroda standar dalam minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol.
3. Mengkaji kualitas minyak goreng kelapa sawit berdasarkan karakteristik tegangan tembusnya sebagai alternatif pengganti minyak transformator yang pada umumnya menggunakan minyak mineral.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan penggunaan minyak goreng sebagai salah satu alternatif pengganti minyak transformator daya dengan penambahan fenol ditinjau dari karakteristik dielektiknya. Serta sebagai bahan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya pada bidang yang sejenis.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang statis. Transformator disebut sebagai peralatan listrik yang statis karena tidak ada bagian yang berputar ataupun bergerak, tidak seperti generator ataupun motor. Transformator dapat memindahkan energi listrik bolak-balik (AC) dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan mengubah besaran tegangan tanpa mengubah frekuensi. Perubahan besaran tegangan pada transformator memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik pada kumparan transformator. Fenomena induksi elektromagnetik yang terjadi pada transformator dalam satu waktu adalah induksi sendiri pada setiap belitan kumparan diikuti oleh induksi bersama yang terjadi antar belitan kumparan.

Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu belitan primer, belitan sekunder, dan inti besi yang terbuat dari besi berlapis yang berlaminasi. Belitan sekunder terhubung dengan sumber listrik bolak balik yang akan membangkitkan fluks magnet dan akan dihantarkan oleh inti besi ke belitan sekunder, fluks pada belitan sekunder akan menginduksikan gaya gerak listrik (GGL).

Dalam pengoperasian penyaluran tenaga listrik, transformator merupakan peralatan listrik yang sangat penting dalam sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi. Karena itu, dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi dengan maksimal. Mengingat transformator bekerja secara terus menerus, maka pemeliharaan transformator diperhatikan dengan tepat dan sebaik mungkin.

#### 2.1.1 Transformator Daya

Salah satu peralatan listrik dalam sistem tenaga listrik adalah transformator yang dapat disebut transformator daya atau *power transformer*. Salah satu contoh transformator daya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Transformator daya

Gambar 2.1 ialah transformator daya yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, berfungsi mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Berdasarkan fasa, transformator daya terdapat dua macam, yaitu transformator daya satu fasa dan transformator tiga fasa. Transformator tiga fasa dapat disusun dari tiga transformator satu fasa ataupun langsung dengan satu transformator tiga fasa. Berdasarkan pemakaian, transformator daya terdapat tiga macam, yaitu:

1. Transformator *Step Up*

Transformator *step up* digunakan untuk mentransformasikan tegangan dari pembangkit atau generator ke saluran transmisi.

2. Transformator Transmisi

Transformator transmisi digunakan untuk mentransformasikan tegangan antar saluran transmisi.

3. Transformator *Control*

Transformator *control* berfungsi sebagai pengatur perbandingan transformasi tegangan untuk mendapatkan tegangan operasi yang diinginkan. Transformator *control* terdapat *tap changer* atau perubah tap, perubah *tap* terdapat di satu sisi ataupun dapat di kedua sisi.

### 2.1.2 Jenis Gangguan Internal pada Transformator

Terdapat beberapa gangguan internal pada transformator yang dapat menimbulkan gas terlarut pada isolasi minyak saat transformator beroperasi yaitu:

1. *Partial Discharge*

Munculnya peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik pada suatu bagian dari bahan isolasi padat transformator.

2. *Arching*

*Arching* atau busur api yang terjadi pada isolasi minyak pada transformator.

3. *Thermal Fault*

Pemanasan yang terjadi pada transformator yang mengakibatkan kenaikan suhu pada isolasi minyak dan selulosa transformator.

4. *Deterioration*

Pemburukan kertas penyekat pada transformator yang disebabkan panas pada sambungan.

## 2.2 Dielektrik Cair

Selama ini kegagalan pada transformator lebih banyak disebabkan oleh adanya ketidakmurnian (*impurity*) minyak. Ketidakmurnian tersebut dapat disebabkan oleh banyak hal, seperti adanya partikel padat, cair maupun gas yang terlarut di dalam minyak. Selain itu adanya tegangan lebih (*electrical stress*) dan pemanasan (*thermal stress*) juga dapat memicu terjadinya kegagalan dan ketidakmurnian tersebut.

Dielektrik cair merupakan salah satu jenis dielektrik yang digunakan sebagai pemisah dua atau lebih elektroda bertegangan sehingga tidak terjadi lonkatan listrik antar elektroda. Dielektrik cair difungsikan sebagai media pendingin trafo dan mengurangi rugi-rugi panas yang terjadi. Serta dielektrik cair memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dibandingkan dengan dielektrik gas. Terdapat beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain:

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

Minyak transformator sebagian besar masih berasal dari minyak mineral, sedangkan untuk yang berasal dari bahan tumbuh-tumbuhan masih banyak diteliti untuk menjadi alternatif pengganti dari bahan fosil.

#### 2.2.1 Sifat-sifat Dielektrik

Sifat-sifat bahan isolasi ditentukan dari sampel tidak selalu dengan nilai sesungguhnya, sifat bahan isolasi diperoleh dari hasil sebaran statistik sehingga dalam sistem isolasi harus dibuat dengan derajat kebebasan yang besar (Tobing, 2012).

Fungsi yang paling penting dari suatu bahan isolasi adalah :

- a. Mengisolasi antara penghantar, contohnya fasa konduktor dengan fasa pentanahan.
- b. Menahan gaya mekanis akibat adanya arus konduktor terisolasi.
- c. Menahan tekanan akibat panas dan reaksi kimia.

Sistem isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian peralatan yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan, karena ada perbedaan tegangan dengan peralatan yang tidak bertegangan diantara kedua pemisah bagian tersebut akan timbul medan listrik. Dengan kata lain, bahan yang membentuk isolasi peralatan listrik harus dapat menahan tekanan yang ditimbulkan oleh medan elektrik di dalam bagian tersebut.

Peralatan listrik akan mengalami kenaikan suhu selama beroperasi pada kerja normal maupun dalam kondisi gangguan, sehingga bahan isolasi harus memiliki sifat termal sebagai berikut (Tobing, 2012):



- a. Kemampuan menahan panas tinggi (daya tahan panas)
- b. Kerentanan terhadap perubahan bentuk pada keadaan panas
- c. Konduktivitas panas yang tinggi
- d. Koefisien panas yang rendah
- e. Tidak mudah terbakar dan tahan terhadap busur api

Salah satu tujuan dan pengujian tegangan tinggi adalah meneliti sifat-sifat listrik dielektrik yang digunakan sebagai bahan isolasi dalam melakukan penelitian, yaitu diantaranya adalah tegangan tembus (kekuatan dielektrik) dan konduktansi (Tobing, 2012).

### 2.2.2 Jenis Minyak Isolasi

Berdasarkan bahan pembuatan, minyak isolasi pada transformator terbagi menjadi tiga jenis, yaitu minyak mineral, minyak sintetis, dan minyak nabati atau organik (Arora, 2011).

#### a. Minyak Mineral

Minyak bumi telah digunakan pada tahun 1891 oleh Sebastian de Ferranti pada isolasi minyak transformator. Minyak bumi merupakan campuran dari beberapa hidrokarbon yang terdapat dalam fase cair dalam reservoir di bawah permukaan tanah dan yang tetap cair pada tekanan atmosfer melalui fasilitas destilasi. Minyak bumi terdiri dari senyawa hidrokarbon dan sedikit sulfur. Berdasarkan susunan rantai hidrokarbon, maka senyawa inti dalam minyak bumi dibedakan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu:

##### 1. Linear (Senyawa Parafin)

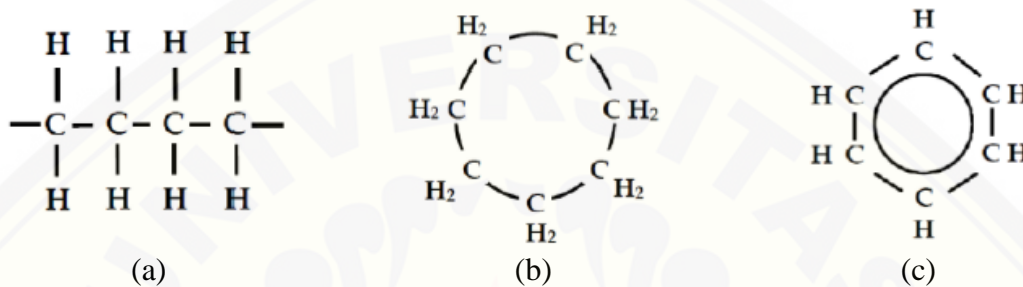
Rumus umum pada senyawa Parafin adalah  $C_nH_{2n+2}$ , misalnya metana  $CH_4$  dalam bentuk gas dan normal butana  $C_4H_{10}$ . Minyak bumi linear digolongkan sebagai fraksi hidrokarbon jenuh yang mempunyai titik didih relatif rendah.

##### 2. Sikloalifatik (Senyawa Naphtena)

Rumus umum pada senyawa Naphtena adalah  $C_nH_{2n}$ . Minyak bumi Sikoloafatik mempunyai struktur ikatan berbentuk lingkaran dengan enam atom karbon atau 14 atom karbon dengan tiga kelompok lingkaran.

### 3. Aromatik

Minyak bumi aromatik merupakan senyawa yang mempunyai struktur enam atom karbon, terbagi menjadi dua golongan yakni monoaromatik (satu ikatan lingkaran) dan poliaromatik (dua atau lebih ikatan lingkaran). Minyak bumi Aromatik digolongkan dengan fraksi hidrokarbon paling berbahaya, dikarenakan mempunyai titik didih tinggi dan mudah terlarut dalam air laut.



Gambar 2.2 Struktur hidrokarbon pada minyak mineral (Sumber: Arora, 2011)

#### b. Minyak Sintetis

Minyak isolasi sintetis adalah minyak isolasi yang diproses secara kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari minyak isolasi mineral. Namun minyak isolasi sintetis memiliki beberapa kelemahan, yaitu sifatnya mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat dan sifat kimianya bisa berubah akibat kenaikan temperatur, serta tidak dapat terurai sempurna, sehingga apabila mengalami kebocoran bisa menimbulkan pencemaran lingkungan. Beberapa contoh dari minyak sintetis adalah askarel, silikon cair, flourinasi cair dan ester sintetis.

#### c. Minyak Nabati

Selain minyak mineral, juga telah ditemukan beberapa minyak nabati yang memiliki sifat sesuai penerapannya dalam peralatan-peralatan listrik. Minyak isolasi nabati merupakan minyak yang diperoleh dari ekstraksi beberapa tumbuhan. Sejumlah besar minyak nabati telah tersedia, seperti jarak, biji rami, lobak, kedelai, kacang tanah, jagung, zaitun, bunga matahari, kelapa dan sebagainya. Minyak nabati tersebut pada dasarnya adalah asam lemak yang terkumpul dalam biji



tumbuhan. Secara kimia, semua senyawa ester yang dihasilkan dari asam sebacic dan gliserin.

Di sisi lain, minyak nabati yang mudah menguap, misalnya minyak terpenin, memiliki bau yang kuat dan yang dihasilkan dari daun, kayu dan akar tanaman khusus. Semakin tinggi berat molekul minyak nabati, resistansi yang lebih spesifik dan rendah kerugian dielektrik yang rendah ( $\tan \delta$ ).

### 2.2.3 Karakteristik Minyak Isolasi

Minyak pada trafo memiliki daya hantar panas yang terjadi pada kumparan dan inti trafo. Sehingga kekuatan listrik trafo dan umur dari sebuah trafo dipengaruhi oleh minyak isolasi. Minyak isolasi di dalam trafo memiliki sifat fisika, listrik, dan kimia antara lain:

#### a. Kejernihan

Minyak isolasi trafo harus jernih tidak mengandung suspensi atau endapan (sedimen). 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.

#### b. Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis minyak dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang. Pengukuran dilakukan di laboratorium dengan suhu media 20 °C. Massa jenis minyak yang harus dipenuhi sesuai SPLN 49-1 Tahun 1982 yaitu boleh melebihi 0,859 gr/cm<sup>3</sup> pada suhu 20 °C.

#### c. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik atau kekentalan minyak memegang peranan penting dalam pendinginan dan viskositas berpengaruh pada kemurnian isolasi cair (banyaknya kontaminan partikel padat. Isolasi cair yang baik haruslah mempunyai viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi cair terkontaminasi akan kecil. Selain itu jika viskositas isolasi cair rendah, proses sirkulasi isolasi cair pada peralatan listrik akan berlangsung dengan baik sehingga akhirnya pendinginan inti dan belitan trafo dapat berlangsung dengan sempurna. Viskositas juga memegang peranan dalam menentukan kelas minyak.

d. Titik Nyala

Minyak di dalam transformator dapat dipanaskan dalam temperatur tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api berbahaya. Semakin tinggi titik nyala maka minyak transformator akan lebih baik.

e. Titik Tuang

Temperatur terendah saat minyak dalam keadaan mengalir pada waktu didinginkan dan temperatur dibawah temperatur normal. Minyak isolasi diharuskan memiliki titik tuang yang rendah.

f. Oksidasi pada Minyak

Selama trafo bekerja, minyak di dalamnya akan mengalami banyak perubahan, perubahan ini mencakup perubahan sifat kimia dan sifat elektrofisis, keseluruhannya disebut degan penuaan atau penyusutan umur minyak. Akibat penuaan ini sifat isolasi listrik minyak akan menurun dan terbentuk endapan yang mengumpul pada bagian aktif trafo sehingga proses pembuangan panas akan terganggu. Faktor utama dalam proses penuaan ini adalah reaksi oksidasi yang terjadi pada minyak. Minyak yang baik adalah minyak adalah minyak yang tahan terhadap oksidasi.

g. Kandungan Air

Penurunan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak transformator disebabkan oleh kandungan air di dalam minyak transformator. Hal ini akan mempercepat kerusakan isolator, sehingga kandungan air di dalam minyak transformator harus serendah mungkin.

h. Tegangan Tembus

Minyak isolasi diharapkan memiliki tegangan tembus yang tinggi, tegangan tembus dalam minyak isolasi memiliki kemampuan untuk menahan tegangan elektrik. Tegangan tembus ini sangat tergantung pada kadungan uap air (basah) di dalam minyak, sedikit kenaikan kadar air akan menyebabkan kemerosotan yang tajam pada harga tembusnya.

### i. Permittivitas

Setiap bahan isolasi mempunyai permitivitas yang berbeda. Permittivitas minyak isolasi dapat dihitung dari kapasitansi minyak isolasi tersebut dengan persamaan sebagai berikut (Muhaimin, 1993):

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot s}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (2-1)$$

dengan:

C : Kapasitansi dari bahan dielektrik (F)

$\epsilon_r$  : Permittivitas bahan dielektrik (F/m)

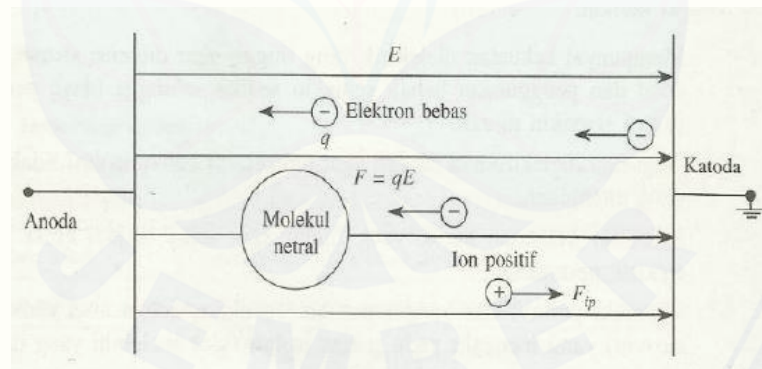
s : Jarak antar sela ke kapasitor (m)

A : Luas permukaan keping kapasitor (m<sup>2</sup>)

$\epsilon_0$  : Permittivitas vakum atau konstanta listrik ( $8,85 \times 10^{-12}$  F/m)

### 2.3 Pengukuran Tegangan Tembus (Kekuatan Dielektrik)

Isolasi yang ideal tidak memiliki elektron-elektron bebas, tetapi elektron-elektron tersebut terikat pada inti atom unsur pembentuk bahan isolasi tersebut. Sedangkan konduktor memiliki elektron-elektron bebas.



Gambar 2.3 Suatu bahan isolasi diantara dua elektroda (Sumber: Tobing, 2012)

Pada Gambar 2.3 tersebut suatu bahan isolasi ditempatkan di antara dua elektroda piring sejajar, bila elektroda diberi tegangan searah V, maka akan timbul medan elektrik (E) di dalam bahan isolasi yang arahnya dari anoda ke katoda. Medan elektrik ini akan menimbulkan gaya (F) pada elektron bebas yang terdapat pada bahan isolasi. Gaya ini akan membuat elektron bebas bergerak ke anoda. Dalam perjalanan menuju anoda, elektron bebas membentur molekul netral yang



Elektroda yang digunakan dalam media isolasi cair berupa elektroda setengah bola antara lain bisa terbuat dari kuningan, perunggu atau *stainless steel*. Panjang jarak celah antara kedua elektroda adalah 2,5 mm. standar pengujiannya tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju 2,0 kV/s  $\pm$  0,2 kV/s hingga terjadi tembus. Untuk standar tegangan tembus minyak isolasi baru yang ditetapkan oleh SPLN 49-1 tahun 1982 adalah sebesar  $\geq$  30 kV. Berikut adalah spesifikasi tegangan tembus minyak transformator.

Tabel 2.1 Spesifikasi tegangan tembus minyak transformator

Nilai Tegangan Tembus Minimal	Batasan
50 kV	Untuk tegangan kerja > 170 kV
40 kV	Untuk tegangan kerja 70-170 kV
30 kV	Untuk tegangan kerja < 70 kV

(Sumber: SPLN 49-1 tahun 1982)

#### 2.4 Faktor Efisiensi Medan Listrik

Pengujian tegangan tinggi pada berbagai konfigurasi susunan elektroda tertentu dengan bentuk geometris tertentu akan menghasilkan karakteristik tegangan tembus yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan distribusi medan listrik akan berbeda pada setiap susunan elektroda yang berbeda-beda. Untuk menentukan besar faktor efisiensi medan listrik pada berbagai konfigurasi susunan elektroda, terlebih dahulu harus mengetahui nilai dari kuat medan listrik rata-rata ( $E_{rata-rata}$ ). Nilai kuat medan listrik rata-rata dapat dihitung dari rata-rata keseluruhan nilai kuat medan listrik lokal, atau nilai kuat medan listrik rata-rata juga dapat dihitung dengan persamaan (2-1) berikut ini.

$$E_{rata-rata} = \frac{U_d}{s} \quad (2-2)$$

Dimana,

$E_{rata-rata}$  : Kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)

$U_d$  : Tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)

$s$  : Jarak sela antar elektroda (cm)



Besar faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) pada berbagai konfigurasi susunan elektroda homogen dan non-homogen dengan bentuk geometris tertentu dapat didefinisikan menurut Schwaiger sebagai berikut (Dhofir, 2000):

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}} \quad (2-3)$$

Keterangan:

$\eta$  : Efisiensi medan listrik pada susunan elektroda

$E_r$  : Kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)

$E_m$  : Kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm)

Pada susunan elektroda keping sejajar, distribusi medan listriknya homogen sehingga besar  $E_m$  sama dengan  $E_r$ . Sebaliknya pada distribusi medan listrik non-homogen akan terdapat kuat medan listrik lokal pada daerah tertentu yang nilainya lebih besar dari kuat medan listrik rata-ratanya. Dengan demikian maka batas nilai faktor efisiensi medan listrik untuk berbagai susunan elektroda dengan bentuk geometris tertentu memenuhi syarat:

$$\eta \leq 1 \quad (2-4)$$

Besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen semisal susunan pelat datar sejajar maka  $\eta = 1$ , sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non-homogen seperti jarum-piring, batang-bola maka nilai  $\eta < 1$ .

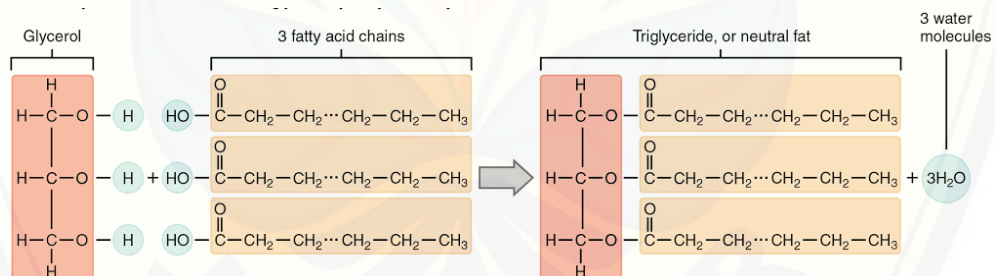
## 2.5 Minyak Kelapa Sawit

Minyak sawit adalah minyak yang berasal dari pengolahan buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis jack*). Buah kelapa sawit terdiri dari serabut buah (*pericarp*) dan inti (*kernel*). Serabut buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapis yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*. Lapisan sebelah dalam disebut *mesocarp* atau *pulp*, dan lapisan paling dalam disebut *endocarp*. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (*testa*), endosperm dan embrio. Mesocarp mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44%, dan endocarp tidak mengandung minyak.



Gambar 2.5 Biji buah kelapa sawit sebagai bahan baku minyak kelapa sawit (Sumber: Budiman, 2018)

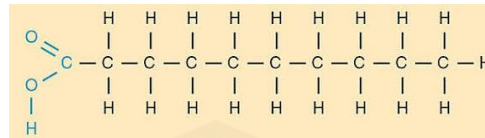
Minyak sawit memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan minyak nabati lainnya. Dari segi ekonomi minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati paling murah karena produktivitas sawit sangat tinggi. Minyak sawit juga mengandung betakaroten dan tokoferol sehingga dilihat dari segi gizi mempunyai keunggulan. Minyak kelapa sawit seperti minyak nabati umumnya merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida. Minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida sebagaimana lemak dan minyak lainnya. Minyak kelapa sawit merupakan ester dan gliserol dengan tiga molekul asam lemak menurut reaksi pada Gambar 2.6.



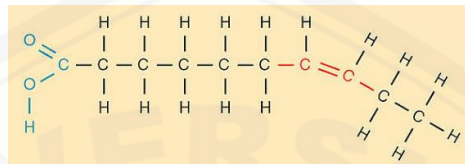
Gambar 2.6 Pembentukan trigliserida (Sumber: OpenStax<sup>TM</sup> College, 2013)

Bila  $R_1 = R_2 = R_3$  atau ketiga asam lemak penyusunnya sama, maka trigliserida ini disebut trigliserida sederhana, dan apabila salah satu atau lebih asam lemak penyusunnya tidak sama maka disebut trigliserida campuran. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon, yang setiap atom karbonnya mengikat satu atau dua atom hidrogen, kecuali atom karbon terminal mengikat tiga atom hidrogen, sedangkan atom karbon terminal lainnya mengikat gugus karboksil. Asam lemak yang pada rantai hidrokarbonnya terdapat ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh, dan apabila tidak terdapat ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya disebut

dengan asam lemak jenuh. Secara umum struktur asam lemak dapat digambarkan pada Gambar 2.7.



(a) *Saturated*



(b) *Unsaturated*

Gambar 2.7 Struktur asam lemak jenuh dan tak jenuh (Sumber: OpenStax™ College, 2013)

Semakin jenuh molekul asam lemak dalam molekul trigliserida, semakin tinggi titik cair minyak tersebut. Pada suhu kamar biasanya berada pada fase padat, sebaliknya semakin tidak jenuh asam lemak dalam molekul trigliserida maka makin rendah titik beku atau titik cair minyak tersebut sehingga pada suhu kamar berada pada fasa cair. Minyak kelapa sawit adalah lemak semi padat yang mempunyai komposisi yang tetap (Adyaksa, 2016).

Tabel 2.2 Komposisi asam lemak minyak sawit

Asam Lemak	Rumus Kimia	Kandungan (%)
Asam miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	1,1 – 2,5
Asam palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	40 - 46
Asam stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	3,6 – 4,7
Asam oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	30 - 45
Asam linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	7 - 11

(Sumber: Adyaksa, 2016)

Keunggulan minyak sawit sebagai minyak masak adalah tidak perlu dilakukan parsial hidrogenasi untuk pembuatan margarin dan minyak goreng (*deep frying fat*), *trans-fatty acid* rendah, dan harganya murah. Klaim produk minyak sawit sebagai produk sehat telah banyak dilakukan penelitian mendasar, sehingga klaim unggulannya mempunyai dasar yang kuat. Meskipun minyak sawit mengandung *mono-unsaturated fatty acid* (Omega 9) cukup tinggi, kandungan asam lemak

jenuhnya (palmitat) juga tinggi yaitu 40%. Asam palmitat yang terdapat dalam minyak kelapa sawit mempunyai nilai positif karena dapat menurunkan kolesterol LDL atau *Low Density Lipoprotein* (Adyaksa, 2016).

Beberapa hal yang mempengaruhi sifat-sifat minyak adalah asam lemak penyusunnya, yaitu asam lemak jenuh (*saturated fatty acid* / SFA) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid* / UFA), yang terdiri atas *mono-unsaturated fatty acid* (MUFA) dan *polyunsaturated fatty acid* (PUFA). Asam lemak bebas (FFA) dalam minyak nabati dihasilkan dari pemecahan ikatan ester trigliserida. Asam lemak bebas secara umum dihilangkan selama proses penjernihan. Adsorpsi asam lemak bebas ditentukan oleh beberapa faktor seperti kadar air dalam minyak, kadar sabun, temperatur dan lamanya waktu kontak dengan adsorben.

Minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) disempurnakan menjadi RBDPO (*Refined Bleached and Deodorized Palm Oil*) yang artinya proses pemurnian, pemucatan dan menghilangkan bau pada minyak sawit mentah. RBDPO Olein dapat diperoleh dari produk minyak goreng yang banyak tersedia di pasar tradisional maupun modern (Setiawan, 2017). Minyak goreng yang baik mempunyai sifat tahan panas, stabil pada cahaya matahari, tidak merusak *flavor* hasil gorengan, sedikit *gum*, menghasilkan produk dengan tekstur dan rasa yang bagus. Standar mutu minyak goreng di Indonesia diatur dalam SNI 01-3741-2002.

Tabel 2.3 Sifat fisika dan kimia minyak goreng kelapa sawit

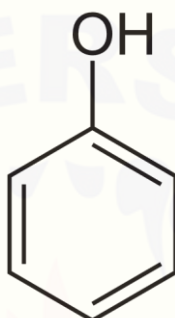
Sifat	Nilai
Densitas (25 °C)	0.909 – 0.917 gr/cm <sup>3</sup>
Bilangan Iod	48-56 mg I/100 gr
Bilangan Penyabunan	196-205 mg KOH/gr
Titik Nyala	324 °C
Titik Leleh	25 °C – 50 °C
Warna	Kuning, kuning kecoklatan
Tingkat Kejernihan	Jernih

(Sumber: SNI 01-3741-2002 dan Romadhona, 2014)



## 2.6 Fenol

Fenol atau asam karbolat atau benzenol merupakan senyawa aromatik, turunan benzene dengan gugus hidroksil (-OH) yang terikat dengan cincin benzene dan mudah larut dalam air. Fenol merupakan jenis asam yang lebih kuat dari alkohol sehingga memiliki bau yang sangat menyengat atau khas. Rumus kimia dari fenol yaitu  $C_6H_5OH$  dan memiliki struktur gugus hidroksil (-OH) yang berikatan dengan cincin fenil seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur kimia fenol (Sumber: Wikipedia)

Fenol bersifat racun dan korosif terhadap kulit (menimbulkan iritasi). Fenol memiliki titik leleh sebesar  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ , titik didih sebesar  $181,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  larut dalam pelarut organik dan larut di dalam air dengan kelarutan terbatas yaitu  $8,3\text{ gram}/100\text{ ml}$  (Lestari, 2015). Sifat fenol cenderung asam artinya fenol dapat melepaskan ion  $H^+$  dari gugus hidroksilnya, tetapi fenol juga dapat berikatan dengan basa seperti fenolat. Sifat asam yang dimiliki fenol dapat diuraikan dengan asam karbonat serta fenol mudah dioksidasi oleh udara. Pengeluaran ion tersebut menjadikan anion fenoloksida  $C_6H_5O^-$  yang dapat dilarutkan didalam air. Semakin besar struktur suatu fenol maka titik didihnya juga semakin tinggi.

Tabel 2.4 Sifat dari fenol ( $C_6H_5OH$ )

Sifat	Nilai
Densitas	$1,07\text{ gr}/\text{cm}^3$
Titik lebur	$40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Titik didih	$181,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
Kelarutan dalam air	$8,3\text{ gr}/100\text{ ml}$
Titik Nyala	$79\text{ }^{\circ}\text{C}$

(Sumber: Wikipedia)

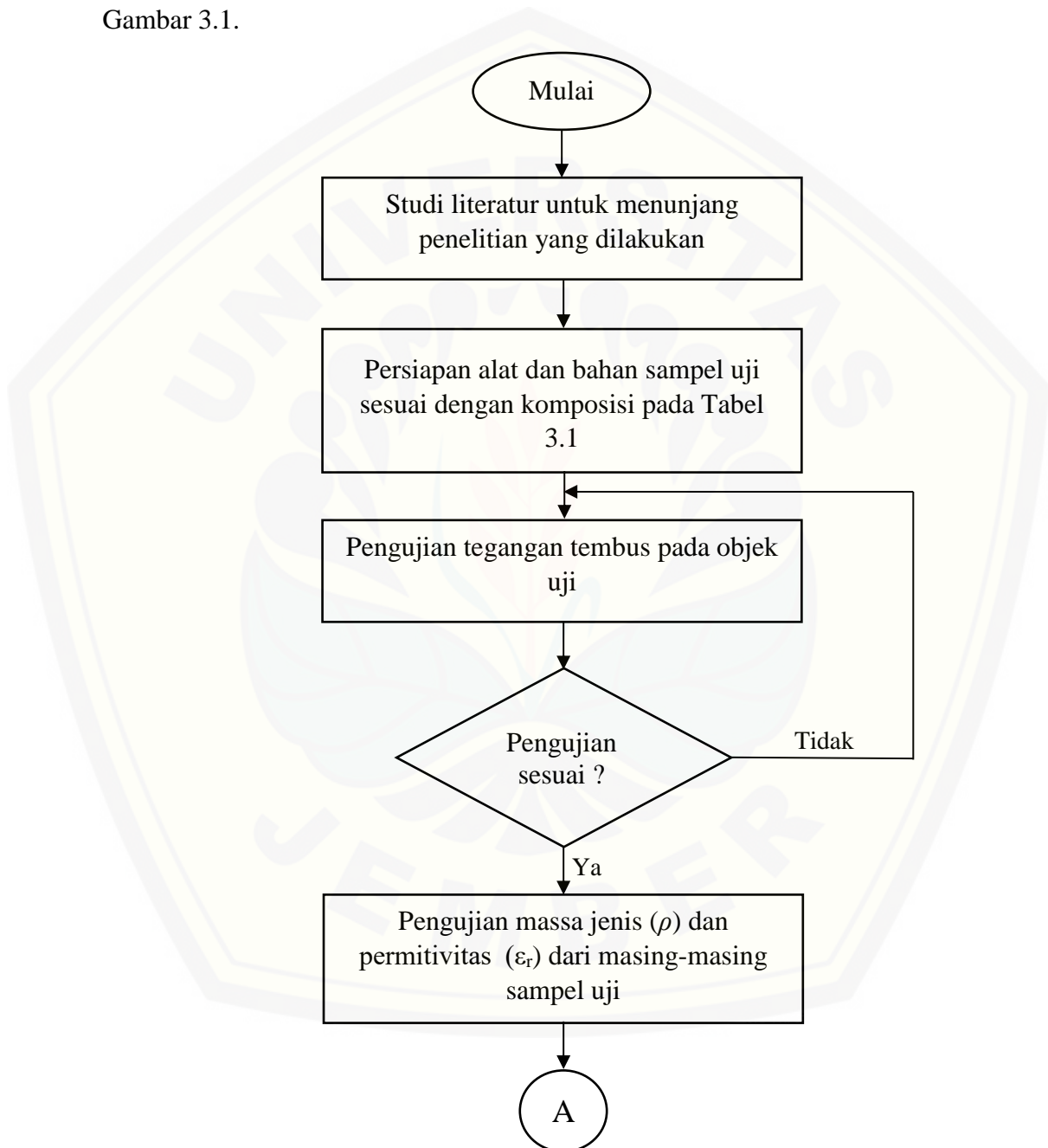


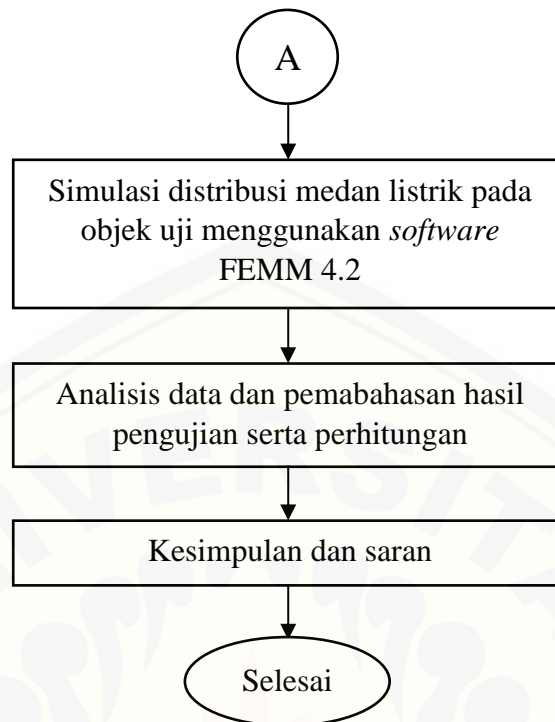
Fenol mengandung senyawa hidrokarbon, diantaranya senyawa aromatik, senyawa aromatik ini sebagai penghambat oksidasi dan penjaga kestabilan, tetapi jika jumlahnya terlalu banyak akan bersifat merugikan, yaitu berkurangnya nilai kekuatan dielektrik. Sebagian besar fenol terbuat dari kumena, komponen pada minyak mentah. Fenol dapat digunakan untuk desinfektan dan antiseptik untuk sterilisasi terutama dari laboratorium mikrobiologi dan ruang operasi.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka unjuk kerja prosedural dan langkah-langkah percobaan penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Dari Gambar 3.1 dapat diamati bahwa unjuk kerja di dalam penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur yang dilakukan dengan membaca buku pustaka yang berkaitan dengan pengujian isolasi minyak. Di dalam melakukan persiapan alat perlu untuk dipersiapkan alat-alat dan bahan uji yang akan digunakan dalam pengujian dan di dalam pengujian dapat diperoleh data sesuai dengan standar SPLN 49-1 tahun 1982 bahwa tegangan tembus pada minyak isolasi baru yaitu sebesar  $>30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ . Seta dilakukan juga pengujian massa jenis ( $\rho$ ) dan permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari masing-masing sampel uji. Sehingga didapatkan kesimpulan dan saran sesuai dengan kaidah isolasi minyak baru.

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang beralamat di Jalan M.T. Haryono No.167 Ketawanggede, Malang dengan waktu penelitian lebih kurang selama 5 minggu, dimulai pada bulan Januari 2019. Untuk pengujian massa jenis ( $\rho$ ) dan permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dilakukan di Laboratorium Elektronika dan

Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember pada tanggal 26 Maret 2019.

### 3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur yang ada kaitannya dengan uji kekuatan isolasi dan ketahanan dari minyak isolasi pada peralatan tinggi menggunakan minyak goreng yang berasal dari kelapa sawit.

Studi literatur ini meliputi jurnal, buku-buku, skripsi dengan topik sejenis, internet dan sumber lain yang dapat menunjang penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dimaksudkan untuk landasan teori di dalam mengerjakan penelitian tentang uji kekuatan dielektrik pada peralatan tegangan tinggi menggunakan minyak nabati atau minyak alternatif dari minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan zat aditif fenol.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini agar mendapatkan hasil untuk menjawab rumusan masalahnya diperlukan beberapa peralatan dan bahan antara lain sebagai berikut:

#### 3.3.1 Alat

##### a. Pengujian Tegangan Tembus

- 1) HV *Transformer* (Trafo Uji) : 220 V/ 100 kV, 5 kVA, 50 Hz
- 2)  $C_M$  : Pembagi kapasitif
- 3) *Chamber* : Kotak uji
- 4) Elektroda : Susunan elektroda setengah bola
- 5) DSM : Alat ukur tegangan tinggi AC
- 6) Gelas *Beaker* : Mengetahui volume minyak
- 7) Termometer : Mengetahui suhu minyak
- 8) Pengaduk : Mencampurkan objek uji

##### b. Pengujian Massa Jenis

- 1) Timbangan digital : Mengukur massa sampel uji
- 2) Gelas ukur (10 ml) : Wadah sampel uji

c. Pengujian Permittivitas

- 1) Kapasitansi meter
- 2) Wadah uji dengan ukuran  $(4,4 \times 0,8 \times 10) \text{ cm}^3$ , terbuat dari kapasitor keping sejajar dengan jarak antar kapasitor sebesar 0,8 cm.

3.3.2 Bahan

- 1) Minyak goreng kelapa sawit
- 2) Fenol (sebagai zat tambahan)

### 3.4 Persiapan Objek Uji

#### 3.4.1 Persiapan Kontaminan

Kontaminan yang digunakan dalam pengujian ini adalah fenol atau asam karbolat ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) yang memiliki sifat asam, artinya fenol dapat melepaskan ion  $\text{H}^+$  dari gugus hidroksilnya. Proses produksi fenol dilakukan melalui oksidasi sebagian pada benzena atau asam benzoat.

Tujuan dari penggunaan fenol ini adalah untuk mengurangi kandungan asam di dalam minyak goreng kelapa sawit yang dapat mempengaruhi tingkat atau ketahanan oksidasi minyak, sehingga dapat menaikkan tegangan tembus dari minyak isolasi yang dapat memicu ketahanan isolasi dari minyak tersebut. Sebelum fenol dicampurkan dengan minyak goreng kelapa sawit, fenol terlebih dahulu dicairkan karena fenol yang digunakan berupa fenol kristal. Proses mencairkan fenol ini dilakukan untuk mempermudah pencampuran antara minyak goreng kelapa sawit dengan fenol agar percampuran keduanya dapat merata. Fenol kristal dipanaskan terlebih dahulu pada suhu  $20 \text{ }^\circ\text{C} - 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , kemudian fenol cair diukur menggunakan gelas ukur pada volume 50 ml, 100 ml, 150 ml dan 200 ml sebagai zat aditif yang akan ditambahkan pada minyak goreng kelapa sawit seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

#### 3.4.2 Kondisi Sampel Uji

Pada sampel uji digunakan minyak goreng kelapa sawit murni dengan elektroda uji setengah bola-setengah bola (elektroda standar). Kondisi pengujian pada objek uji ini dilakukan tanpa dan dengan campuran zat aditif fenol. Tanpa zat aditif fenol artinya sampel uji yang digunakan yaitu minyak goreng kelapa sawit



murni tanpa penambahan zat fenol. Sedangkan untuk kondisi sampel uji dengan campuran zat aditif fenol, mencampurkan antara minyak goreng kelapa sawit dengan zat aditif fenol pada variasi atau konsentrasi fenol yang berbeda-beda.



Gambar 3.2 Kondisi sampel uji murni dan variasi fenol

Penggunaan fenol dimaksudkan untuk mengurangi kandungan asam di dalam minyak goreng kelapa sawit yang dapat mempengaruhi ketahanan oksidasi minyak, sehingga dapat menaikkan tegangan tembus pada minyak tersebut. Penggunaan fenol tersebut sebagai penetralisir dari zat asam yang dimiliki oleh minyak goreng kelapa sawit supaya layak digunakan di dalam isolasi peralatan tegangan tinggi. Dengan menggunakan gelas *beaker* untuk mengukur volume minyak goreng kelapa sawit dan fenol maka akan didapatkan campuran minyak goreng kelapa sawit dan fenol secara homogen untuk digunakan sebagai objek uji. Kapasitas pencampuran antara minyak goreng kelapa sawit dengan fenol dihitung menggunakan rumus kadar zat larutan dengan persamaan :

$$\%volume = \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \quad (3-1)$$

Dimana :

$V_t$  : Volume terlarut atau volume fenol (ml)

$V_p$  : Volume pelarut atau volume minyak goreng kelapa sawit (ml)

Untuk sampel pertama dengan volume fenol sebesar 0 ml dan volume minyak goreng kelapa sawit sebesar 1000 ml dapat dihitung kadar zat larutan atau persentase dari fenol sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\%V_1 &= \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \\ &= \frac{0}{0 + 1000} \times 100\% = 0\%\end{aligned}$$

Untuk sampel kedua dengan volume fenol sebesar 50 ml dan volume minyak goreng kelapa sawit sebesar 1000 ml dapat dihitung kadar zat larutan atau persentase dari fenol sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\%V_2 &= \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \\ &= \frac{50}{50 + 950} \times 100\% = 5\%\end{aligned}$$

Untuk sampel ketiga dengan volume fenol sebesar 100 ml dan volume minyak goreng kelapa sawit sebesar 900 ml dapat dihitung kadar zat larutan atau persentase dari fenol sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\%V_3 &= \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \\ &= \frac{100}{100 + 900} \times 100\% = 10\%\end{aligned}$$

Untuk sampel berikutnya dengan volume fenol sebesar 150 ml dan volume minyak goreng kelapa sawit sebesar 850 ml dapat dihitung kadar zat larutan atau persentase dari fenol sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\%V_4 &= \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \\ &= \frac{150}{150 + 850} \times 100\% = 15\%\end{aligned}$$

Untuk sampel terakhir dengan volume fenol sebesar 200 ml dan volume minyak goreng kelapa sawit sebesar 800 ml dapat dihitung kadar zat larutan atau persentase dari fenol sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\%V_5 &= \frac{V_t}{V_t + V_p} \times 100\% \\ &= \frac{200}{200 + 800} \times 100\% = 20\%\end{aligned}$$

Komposisi dari kelima sampel uji yang telah dihitung kadar volume larutan (%) menggunakan persamaan 3-1 selanjutnya disajikan dalam tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Komposisi kondisi sampel uji

Kapasitas Tiap Sampel (ml)	Variasi Fenol (ml)	Kapasitas (ml)		Persentase Fenol
		Minyak Goreng Kelapa Sawit	Fenol	
1000	0	1000	0	0%
	50	950	50	5%
	100	900	100	10%
	150	850	150	15%
	200	800	200	20%

Volume yang tertampung dalam kotak uji tersebut sudah mewakili sampel dari minyak goreng kelapa sawit yang akan diuji tegangan tembusnya. Dalam pengujian ini pengukuran dalam selang waktu 1 menit dan diambil 3 data pengujian kemudian hasilnya dirata-rata untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat. Elektroda dipasang di dalam kotak uji kemudian dituangkan minyak goreng kelapa sawit ke dalam kotak uji. Pada penuangan ke kotak uji campuran minyak goreng kelapa sawit dan dengan fenol dilakukan secara perlahan agar tidak terdapat gelembung udara di dalam kotak uji yang dapat mengganggu hasil pengujian. Pada kotak uji titik tegangan tinggi diletakkan pada satu ulir sisi elektroda setengah bola, sedangkan satu ulir sisi lain elektroda setengah bola dihubungkan ke titik terendah atau *ground*. Hal tersebut dilakukan agar pengujian sesuai dengan standar prosedur dari pengujian minyak isolasi.

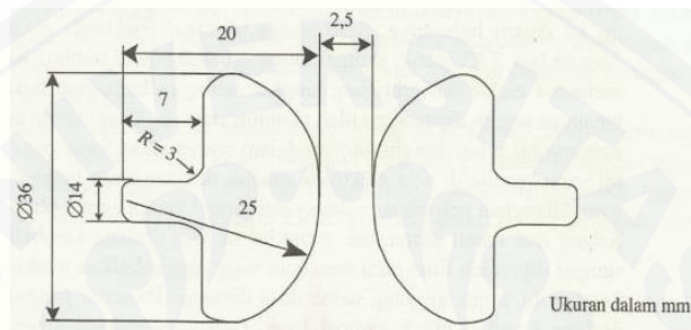
### 3.5 Pengujian Objek Uji

Minyak isolasi yang dipakai dalam pengujian ini adalah minyak alternatif yang berasal dari sumber daya nabati yaitu minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan zat aditif fenol dengan rumus kimia  $C_6H_5OH$ . Perlu diketahui bahwa dalam penuangan minyak isolasi dilakukan dengan penuangan minyak yang telah diukur menggunakan gelas *beaker* dan sudah tercampur dengan fenol. Sebelumnya, fenol kristal sudah harus dicairkan terlebih dahulu pada suhu pemanasan  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk memperoleh campuran fenol dan minyak goreng kelapa sawit secara homogen atau menyatu secara keseluruhan.

### 3.5.1 Pengujian Tegangan Tembus

#### a. Persiapan Elektroda Uji

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan aluminium yang berupa elektroda setengah bola – setengah bola dengan diameter 2,5 cm (0,25 mm) sesuai standar VDE 0370 yang di dalam IEC 156 diatur spesifikasi tegangan tembus > 30 kV dengan jarak sela sebesar 2,5 mm dan digunakan untuk mengetahui distribusi medan magnet ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Elektroda setengah bola – setengah bola sesuai VDE 0370  
(Sumber: SPLN, 1982)

#### b. Persiapan Kotak Uji

Kotak uji (*chamber*) yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan kaca *tempered* dengan ketebalan 0,5 cm. Kaca memiliki temperatur kerja sampai 700 °C, sehingga isolasi kaca sangat cocok digunakan di dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



(a)



(b)

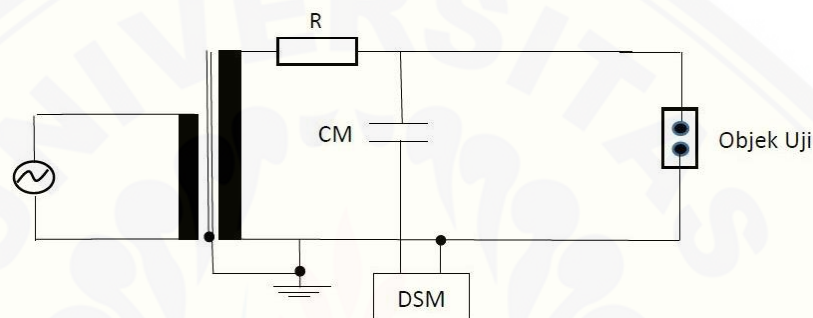
(a)Tampak Samping; (b) Tampak Atas

Gambar 3.4 Kotak uji (*chamber*) untuk pengujian tegangan tembus



### c. Rangkaian Pengujian

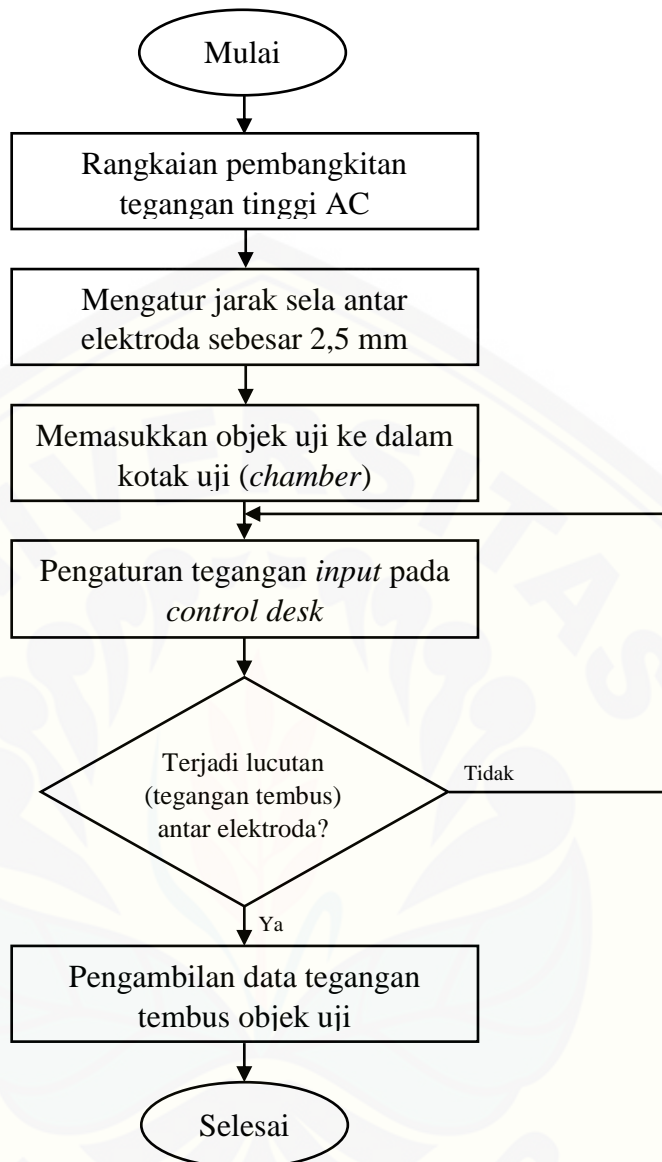
Dalam pengujian tegangan tembus dari minyak kelapa sawit digunakan tegangan bolak-balik (AC). Hal ini menunjukkan bahwa tegangan tembus digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan minyak di dalam menahan tegangan yang besar. Pada pengujian ini menggunakan gelas uji standar (*chamber*) tipe VDE 370 yang berjarak sela antar elektroda adalah 2,5 mm. Berikut ini rangkaian untuk pembangkitan tegangan tinggi AC:



Gambar 3.5 Rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC

Pada Gambar 3.5 rangkaian menunjukkan trafo uji dihubungkan paralel dengan *CM* (pembagi kapasitif) untuk dapat diukur tegangannya. Tegangan ukurnya diukur menggunakan *control desk* yang digunakan kabel penghubung *DSM* pada *control desk*, kotak uji atau *chambers* dihubungkan paralel dengan trafo uji dan *CM* serta elektroda setengah bola di dalam *chamber* bagian atas dihubungkan dengan tegangan sedangkan elektroda setengah bola yang bawah ditanahkan. Sebuah *CB* dihubungkan kesisi primer trafo untuk memutuskan arus dengan segera sesaat setelah terjadi tembus pada minyak. Pemutusan arus harus dilakukan dengan segera untuk mencegah terjadinya karbonisasi dan kerusakan pada elektroda. Pemasangan resistor dengan nilai resistansi yang tinggi pada rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC diperlukan untuk membatasi besar arus hubung singkat yang mengalir. Diagram alir untuk pengujian tegangan tembus ditunjukkan pada Gambar 3.6





Gambar 3.6 Diagram alir pengujian tegangan tembus (AC)



Gambar 3.7 Rangkaian pengujian tegangan tembus

Secara lebih detail langkah-langkah pengujian tegangan tembus dilakukan sebagai berikut:

1. Objek uji dimasukkan ke dalam kotak uji yang telah dipersiapkan. Penuangan minyak ke dalam kotak uji dilakukan secara perlahan dan diusahakan agar tidak menimbulkan gelembung-gelembung udara pada minyak. Setelah penuangan ada baiknya di diamkan selama kurang lebih 10 menit terlebih dahulu sebelum tegangan diterapkan agar meminimalkan gelembung udara (Kind, 1993). Untuk volume masing-masing objek uji telah ditentukan seperti pada Tabel 3.1.
2. Selanjutnya objek uji tersebut diuji kekuatan dilektriknya dengan menggunakan masukan sumber tegangan tinggi AC yang diberikan melalui *control desk* yang terhubung dengan trafo *step up*. Sesaat terjadi tegangan tembus rangkaian harus diputuskan segera dengan saklar pemutus dan besar tegangan yang terbaca sesaat ketika terjadi tembus adalah nilai tegangan tembusnya. Pengambilan data diulangi lagi sebanyak tiga kali berturut-turut untuk mendapatkan keakuratan hasil pengujian.

### 3.5.2 Pengujian Massa Jenis

Pengujian massa jenis dilakukan pada sampel minyak goreng kelapa sawit murni dan minyak goreng kelapa sawit setelah ditambahkan beberapa variasi fenol seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 3.1. Untuk mendapatkan nilai massa jenis diperlukan parameter yaitu massa dan volume benda yang diukur. Berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan nilai massa jenis:

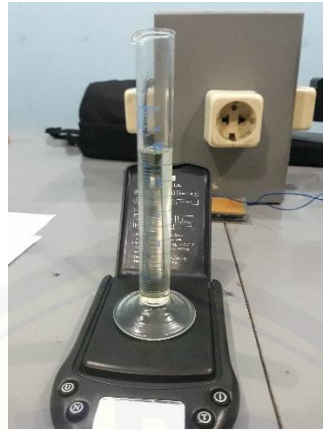
$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3-2)$$

Dimana,

$\rho$  : Massa jenis (gr/cm<sup>3</sup>)

m : Massa benda (gr)

v : Volume benda (ml atau cm<sup>3</sup>)

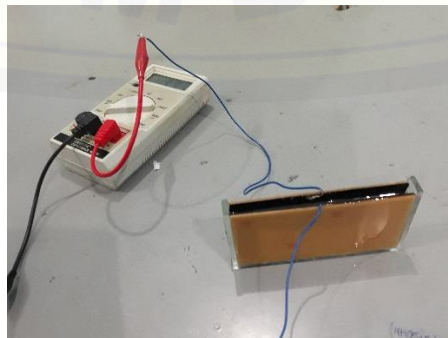


Gambar 3.8 Pengujian massa jenis

Dalam pengujian massa jenis ini menggunakan gelas ukur dengan volume 10 ml dan massa dari gelas ukur dalam keadaan kosong atau belum terisi minyak sebesar 30,8 gram. Untuk mendapatkan massa dari sampel uji, maka massa gelas ukur yang terisi dengan minyak dikurangi dengan massa dari gelas ukur dalam kondisi kosong.

### 3.5.3 Pengujian Permittivitas ( $\epsilon_r$ )

Pengujian permitivitas dilakukan pada sampel minyak goreng kelapa sawit murni dan minyak goreng kelapa sawit setelah ditambahkan beberapa variasi fenol seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 3.1. Nilai permitivitas relatif didapatkan dari pengukuran nilai kapasitansi pada bahan dielektrik, dilakukan dengan menempatkan sampel uji pada wadah transparan yang terbuat dari kaca dengan ukuran  $(4,4 \times 0,8 \times 10) \text{ cm}^3$  yang didalamnya sudah terdapat dua keping konduktor. Keping konduktor tersebut telah tersusun secara sejajar antara satu dengan lainnya, sehingga minyak yang diuji berada diantara keping kapasitor tersebut.

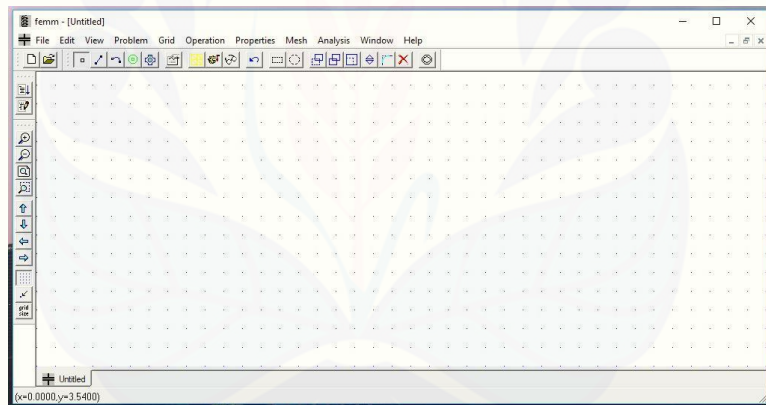


Gambar 3.9 Pengujian kapasitansi dari bahan dielektrik

Setelah didapatkan nilai kapasitansi dari masing-masing sampel uji, kemudian menghitung nilai permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari masing-masing sampel uji menggunakan persamaan 2-1.

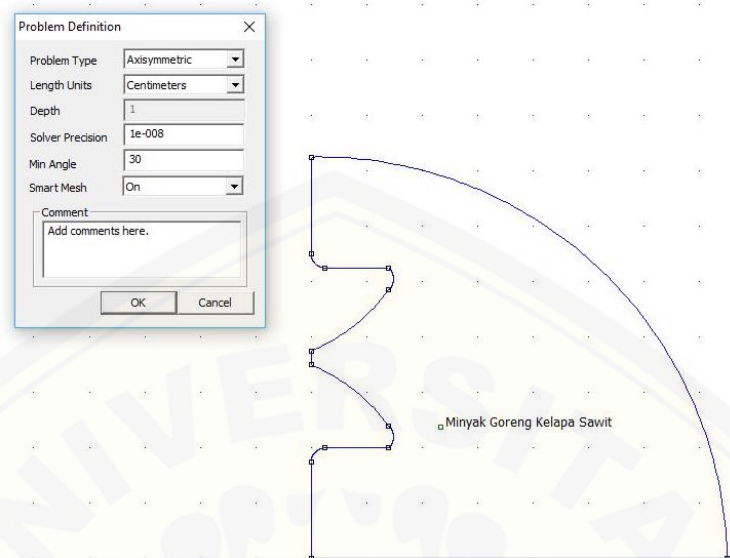
### 3.6 Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Susunan Elektroda Standar

Distribusi medan listrik dari susunan elektroda standar (setengah bola-setengah bola) pada pengujian tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit dapat disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2. Dengan menggunakan data-data hasil pengujian dan hasil perhitungan maka distribusi medan listrik dari minyak goreng kelapa sawit dapat disimulasikan. Data-data yang diperlukan untuk simulasi adalah bentuk geometris dari susunan elektroda, dimensi elektroda, jarak sela antar elektroda, tegangan tembus, dan permitivitas minyak goreng kelapa sawit yang diuji.



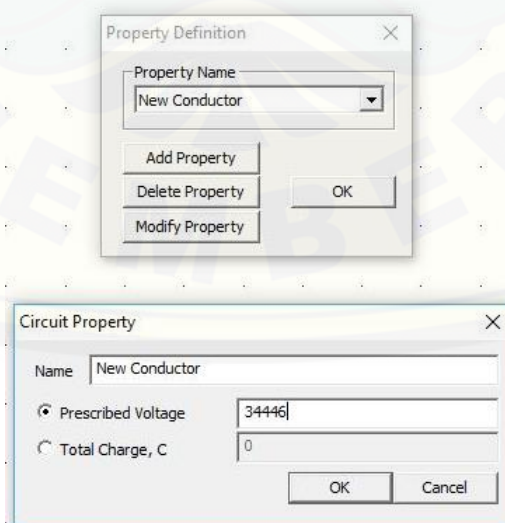
Gambar 3.10 Tampilan halaman kerja dari *software* FEMM 4.2

Pada program FEMM 4.2, hal pertama yang dilakukan adalah menggambar susunan elektroda yang digunakan dalam pengujian. Pada simulasi digunakan jarak sela antar elektroda setengah bola-setengah bola yaitu sebesar 2,5 mm. Pada elektroda simulasi dilakukan menggunakan sistem *axisymmetric* yaitu dengan cara membuat irisan simetrinya dengan pusat elektroda sebagai porosnya dan memilih *centimeter* sebagai satuan panjangnya. Untuk pemilihan model penggambaran dan satuan panjang digunakan menu *Problem* pada FEMM 4.2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Menu *Problem Definition* pada FEMM 4.2

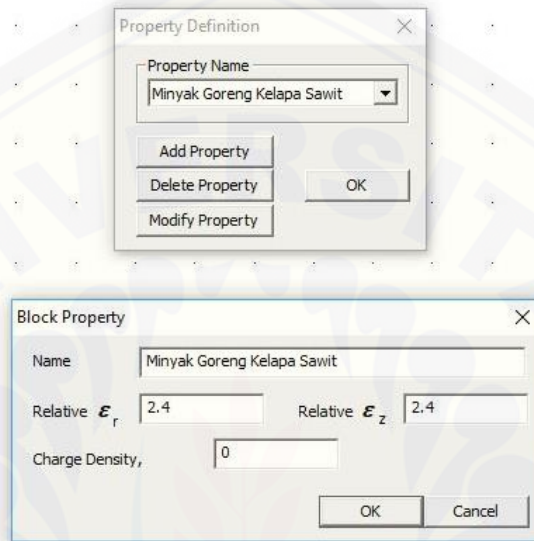
Setelah menggambar susunan elektroda, kemudian memasukkan data pengujian yaitu tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit pada susunan elektroda yang akan disimulasikan. Pada *input* nilai tegangan tembus ini digunakan menu *Properties* dengan submenu *Conductors*. Selanjutnya pilih menu *Modify Property*, lalu memasukkan nilai tegangan tembus sesuai data pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12 Submenu *Conductors* pada FEMM 4.2 sebagai *input* tegangan tembus



Setelah itu memasukkan nilai permitivitas ( $\epsilon_r$ ) dari minyak goreng kelapa sawit. Pada *input* nilai permitivitas ini digunakan menu *Properties* dengan submenu *Materials*. Selanjutnya pilih menu *Modify Property*, lalu memasukkan nilai permitivitas dari masing-masing sampel uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 berikut ini.



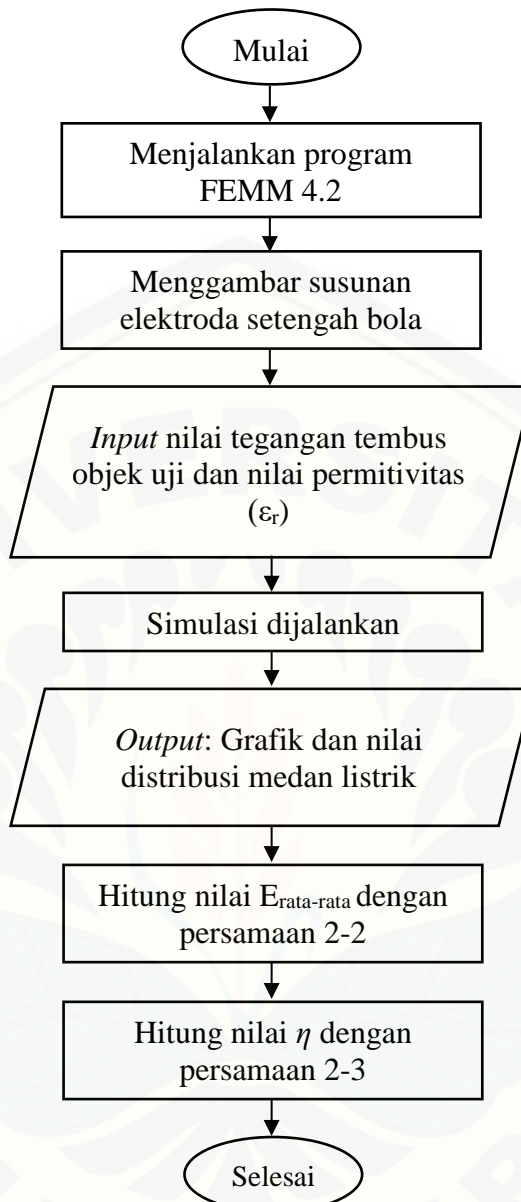
Gambar 3.13 Submenu *Materials* pada FEMM 4.2 sebagai *input* nilai permitivitas

Kemudian setelah langkah-langkah diatas tersebut dilakukan, program dapat disimulasikan untuk mengetahui distribusi medan listrik. Untuk enghubungkan model, menganalisis model dan melihat hasilnya dapat memilih tombol-tombol *toolbar* yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Tombol *toolbar* untuk menjalankan simulasi

Secara lebih jelas dan ringkas dari langkah-langkah simulasi distribusi medan listrik pada susunan elektroda menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2, ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.15 Diagram alir simulasi distribusi medan listrik pada pengujian objek uji menggunakan *software* FEMM 4.2

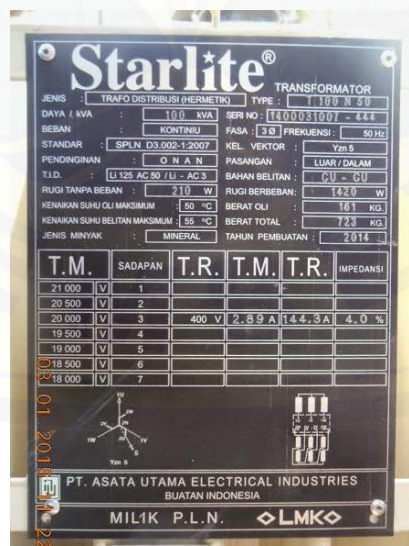
### 3.6.1 Faktor Efisiensi Medan Listrik Pada Susunan Elektroda Standar

Pada simulasi, jarak sela yang diterapkan yaitu 2,5 mm serta tegangan tembus yang digunakan adalah tegangan tembus pada susunan elektroda setengah bola-setengah bola minyak goreng kelapa sawit murni.

Nilai kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm)  $E_m$  dapat diketahui dari grafik dan tabel hasil simulasi menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2. Sedangkan kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)  $E_r$  dapat dihitung dengan persamaan 2-2. Setelah diketahui nilai medan listrik rata-rata, maka dihitung nilai faktor efisiensi medan listrik menggunakan persamaan 2-3.

### 3.7 Estimasi Kuantitas Minyak Goreng Kelapa Sawit Dengan Aditif Fenol Dalam Transformator Daya Distribusi Tegangan 20 kV Pada Daya 100 kVA

Pada bagian ini dilakukan estimasi perhitungan kapasitas penggunaan minyak goreng kelapa sawit dengan salah satu penambahan fenol terbaik untuk dijadikan sebagai alternatif minyak trafo dalam transformator daya distribusi tegangan 20 kV pada daya 100 kVA. Perhitungan ini hanya asumsi untuk mengetahui kisaran volume percampuran minyak goreng kelapa sawit dengan volume fenol di dalam sebuah transformator daya. Adapun transformator daya yang menjadi acuan dalam perhitungan ini adalah transformator daya yang digunakan dalam sistem distribusi jaringan listrik PLN dengan daya nominal 100 kVA dan spesifikasi detailnya dapat dilihat dalam *nameplate* pada Gambar 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16 *Nameplate* transformator daya distribusi tegangan 20 kV pada daya 100 kVA  
(Sumber: Katalog SPLN, 2013)

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil data penelitian dan analisis kinerja dielektrik atau isolasi dari minyak goreng kelapa sawit, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan zat aditif fenol ke dalam minyak goreng kelapa sawit sebagai campuran dapat meningkatkan tegangan tembus minyak goreng kelapa sawit. Peningkatan penambahan zat aditif fenol sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dapat meningkatkan tegangan tembus berturut-turut menjadi 15,283 kV; 23,023 kV; 30,436 kV dan 34,446 kV atau mengalami kenaikan berturut-turut sebesar 6,11%; 59,85%; 111,32% dan 139,16% yang semula didapatkan nilai tegangan tembus dari minyak goreng kelapa sawit murni sebesar 14,403 kV.
2. Pada simulasi distribusi medan listrik menggunakan *software* FEMM 4.2, minyak goreng kelapa sawit dengan penambahan fenol sebesar 20% memiliki nilai permitivitas ( $\epsilon_r$ ) sebesar 9,15 F/m dengan nilai kuat medan listrik rata-rata sebesar 158,683881 kV/cm dan nilai kuat medan listrik lokal tertinggi sebesar 305,482589 kV/cm pada jarak sela elektroda 0,25 mm, serta termasuk dalam medan non-homogen pada susunan elektroda standar karena memiliki faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) sebesar 0,5213.
3. Nilai massa jenis pada minyak goreng kelapa sawit murni dan minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol 5%, 10%, 15% dan 20% mengalami peningkatan. Ketika minyak goreng kelapa sawit murni memiliki nilai massa jenis sebesar 0,893 gr/cm<sup>3</sup> dan ketika ditambahkan fenol 10% pada minyak goreng kelapa sawit didapatkan nilai massa jenis sebesar 0,906 gr/cm<sup>3</sup>. Hal tersebut terjadi karena masing-masing dari minyak goreng kelapa sawit dan fenol memiliki nilai massa jenis yang berbeda sehingga jika kedua larutan tersebut dicampurkan maka massa jenisnya bertambah dari semula.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian ini maupun selanjutnya adalah:

1. Menggunakan zat aditif lain selain fenol sebagai zat tambahan yang dapat meningkatkan tegangan tembus dari minyak isolasi, serta dilakukan pengamatan pengaruh dari suhu dan waktu proses pemanasan minyak terhadap nilai tegangan tembus yang didapatkan.
2. Perlu adanya pertimbangan atau kajian lebih lanjut untuk minyak goreng kelapa sawit dengan aditif fenol sebesar 20% karena minyak tersebut telah memenuhi standar dari SPLN 49-1 tahun 1982 yaitu memiliki nilai tegangan tembus sebesar 34,446 kV namun memiliki nilai faktor efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) kurang dari 1 yaitu sebesar 0,5213.
3. Perlunya pengujian lebih lanjut untuk karakteristik fisika dan kimia dari minyak goreng kelapa sawit sesuai dengan SPLN 49-1 tahun 1982.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arora, R., dan W. Mosch. 2011. *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. New Jersey: Wiley-IEEE Press.
- Adibah, F. 2016. Studi Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair Pada Transformator Daya Menggunakan Destilasi Vakum Dengan Variasi Fenol. *Skripsi*. Jember: Teknik Elektro Universitas Jember.
- Adyaksa, M. P. 2016. Investigasi Interaksi Komponen Pangan Melalui Pendekatan Metodologi Sensoris Rata (*Rate-All-That-Apply*) dengan Menggunakan Minyak Kelapa dan Minyak Sawit. *Skripsi*. Malang: Teknologi Hasil Pertanian Universitas Brawijaya.
- Ayuningsih, L., M. Dhofir, dan H. Purnomo. 2017. Analisis Perilaku Pengotor Serbuk Jerami Dalam Minyak Transformator Shell Diala B Pada Medan Homogen Dan Non Homogen. *Jurnal Mahasiswa TEUB*. 5(2).
- Departemen Perindustrian (Depperin). 2007. *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*.
- Dhofir, M., N. R. Dona, U. Wibawa, dan R. N. Hasanah. 2017. Minyak Kelapa Beraditif Minyak Zaitun sebagai Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi. *EECCIS*. 11(2): 69-76.
- Hariyanto, F. 2014. Analisis Tegangan Tembus dan Viskositas Minyak Transformator Dengan Aditif Amina, BHT dan Fenol. *Skripsi*. Jember: Teknik Elektro Universitas Jember.
- Hussin, N., N. H. M. Aslan, M. K. M. Jamil, M. Isa, dan H. A. Hamid. 2016. The Effect of Antioxidants on The Performance of Vegetable Oil In High Voltage Applications. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11(8): 5060-5065.
- Indonesia Investments. (2017, Juni 26). *Minyak Kelapa Sawit*. Retrieved Januari 11, 2019, from Indonesia Investments: <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/minyak-sawit/item166?>
- Irwanto, A.A.R. 2012. Analisis Tegangan Tembus Minyak Sawit (*Palm Oil*) Pada Tegangan Tinggi Bolak-Balik Frekuensi Tenaga 50 Hz. *Skripsi*. Bandung: Pendidikan Teknik Elektro Universitas Pendidikan Indonesia.

- Kind, D. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB Bandung.
- Lestari, F. A. 2015. Studi Isolasi Minyak Randu dengan Penambahan Fenol Pada Medan Listrik Homogen dan Non-Homogen. *Skripsi*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Marsudi, D. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Bandung: Erlangga.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN). 1982. *Minyak Isolasi Transformator*. Jakarta: SPLN 49-1 Tahun 1982.
- Ramadhona, G., dan T. Haryono. 2013. Karakteristik Minyak Zaitun dan Minyak Goreng Kelapa Sawit Sebagai Minyak Untuk Transformator. *JNTETI*. 2(4).
- Raymon, A., P. Samuel Pakianathan, M. P. E. Rajamani, dan R. Karthik. 2013. Enhancing the Critical Characteristics of Natural Esters with Antioxidants for Power Transformer Applications. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 20(3): 899-912.
- Reifeldi, H.A., B. Winardi, dan A. Syakur. 2017. Perbandingan Parameter Dielektrik Minyak Bekas Transformator Sebelum Dan Sesudah Purifikasi Dengan Metode Boiling, Regenerasi Dan Filtering. *TRANSMISI*. 6(2): 175-183.
- Setiawan, R., dan F. Murdiya. 2013. Perancangan Alat dan Pengujian Tegangan Tembus dengan Minyak Isolasi RBDPO Olein Menggunakan Elektroda Bola-Bola. *Jom FTEKNIK*. 4(2): 1-14.
- Sibarani, M.T.B. 2018. Pengujian Tegangan Tembus Bolak Balik Minyak Goreng Berbagai Merk Dengan Menggunakan Variasi Bentuk Elektroda. *INVOTEK POLBENG*. 8(2): 272-278.
- Sinan, S.S., S. N. Shawaludin, J. Jasni, N. Azis, M. Z. A. Abd Kadir, dan M. N. Mohtar. 2014. Investigation On The AC Breakdown Voltage Of RBDPO Olein. *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*. 2(3): 760-763.

Tobing, B.L. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua*. Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama.

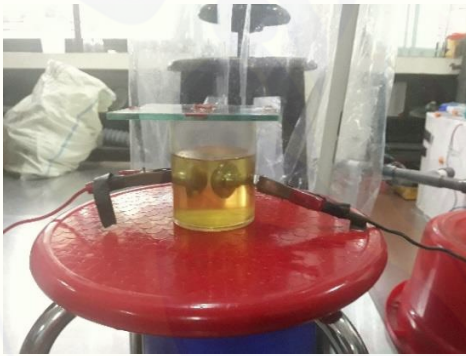
Wikipedia. (2018, Desember 13). *Fenol*. Retrieved Desember 26, 2018, from Wikipedia: <https://id.m.wikipedia.org/wiki/Fenol>



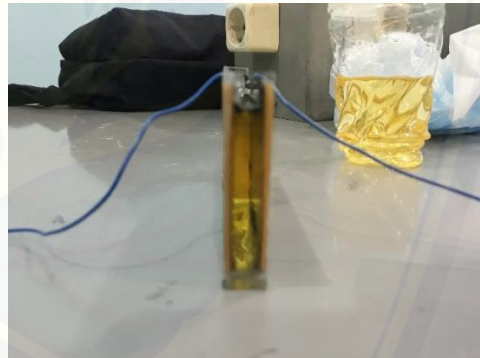
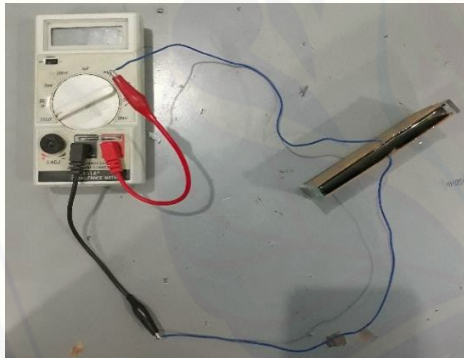
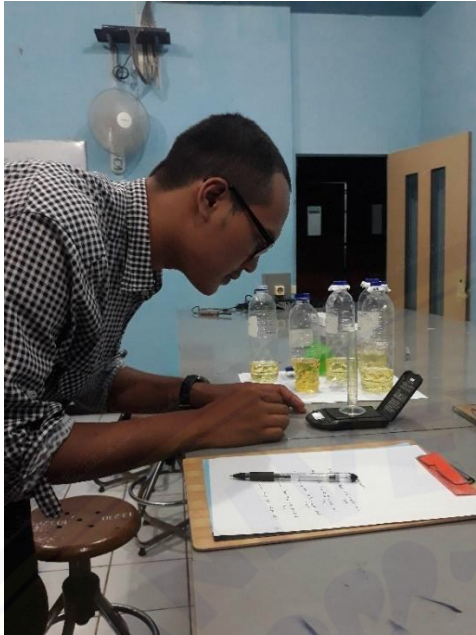


# LAMPIRAN

DOKUMENTASI KEGIATAN









**LABORATORIUM TEGANGAN TINGGI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK GORENG  
 KELAPA SAWIT**

**Nama : ALDIANTO WAHYU RAMADHAN**  
**NIM : 141910201019**  
**Prodi : S1 Teknik Elektro**  
**Fakultas : Teknik**  
**Institusi : Universitas Jember**

Kapasitas Tiap Sampel (ml)	Variasi Fenol (ml)	Kapasitas (ml)		Persentase Fenol
		Minyak Goreng Kelapa Sawit	Fenol	
1000 ml	0	1000	0	0 %
	50	950	50	5 %
	100	900	100	10 %
	150	850	150	15 %
	200	800	200	20 %

Perulangan	Tegangan Tembus (kV)				
	0%	5%	10%	15%	20%
1	14,31	15,21	22,96	28,84	30,51
2	14,72	15,18	22,86	28,07	35,50
3	14,18	15,46	23,25	34,40	37,33
Rata-rata	14,403	15,283	23,023	30,436	34,446

Tekanan Udara (P) : 955 mbar  
 Temperatur Ruangan (T) : 25,26 °C

Malang, 25 Januari 2019

Mengetahui,  
 Kepala Laboratorium Tegangan Tinggi



Drs. Ir. Moch. Dhoir, M.T.  
 NIP. 19800701 199002 1 1001



**DATA HASIL PENGUJIAN MASSA JENIS DAN PERMITIVITAS MINYAK  
 GORENG KELAPA SAWIT DENGAN ADITIF FENOL**

**Nama** : ALDIANTO WAHYU RAMADHAN  
**NIM** : 141910201019  
**Prodi** : S1 Teknik Elektro  
**Fakultas** : Teknik

**A. Massa Jenis**

Persentase Fenol	Massa Sampel Uji (gr)	Massa Larutan (gr)	Volume Larutan (ml)	Massa Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
0 %	39,73	8,93	10	0,893
5 %	39,80	9,00	10	0,900
10 %	39,86	9,06	10	0,906
15 %	39,92	9,13	10	0,913
20 %	40,06	9,26	10	0,926

Massa gelas ukur = 30,80 gr

Massa larutan = Massa sampel uji - Massa gelas ukur

$$\text{Massa Jenis } (\rho) = \frac{\text{Massa larutan } (m)}{\text{Volume larutan } (V)}$$

**B. Permittivitas**

Perulangan	Kapasitansi (pF)				
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
1	36,0	38,6	38,9	38,9	44,7
2	36,3	38,4	38,8	39,2	44,9
3	36,1	38,3	38,8	39,3	44,1
Rata-rata	36,13	38,43	38,83	39,12	44,56

Suhu ruangan = 28 °C

1 Pf = 1 x 10<sup>-12</sup> F

Luas permukaan keping kapasitor (A) = 4,4 cm x 10 cm

$$= 44 \text{ cm}^2$$

$$= 44 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$







**LABORATORIUM ELEKTRONIKA DAN INSTRUMENTASI**  
**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**

Jarak antar sela kapasitor ( $s$ ) =  $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot s}{\epsilon_0 \cdot A}$$

Jadi,

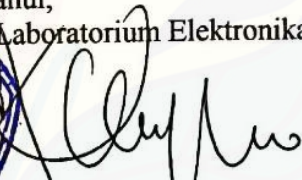
Persentase Fenol	Permitivitas ( $\epsilon_r$ )
0 %	7,42 F/m
5 %	7,89 F/m
10 %	7,97 F/m
15 %	8,04 F/m
20 %	9,15 F/m

Jember, 26 Maret 2019

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi



  
Tjahjo Nugroho, S. Si., M.Phill., Ph.D.  
NIP. 19681219 199402 1 001