KINERJA DIELEKTRIK MINYAK KELAPA DENGAN ADITIF MINYAK ZAITUN SEBAGAI ISOLASI

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

NUR RAHMA DONA

NIM. 125060301111024

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

KINERJA DIELEKTRIK MINYAK KELAPA DENGAN ADITIF MINYAK ZAITUN SEBAGAI ISOLASI

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

NUR RAHMA DONA
NIM. 125060301111024

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Mei 2016

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Drs. Ir. Mochammad Dhofir, M.T.	**Ir. Unggul Wibawa, M.Sc**
NIP. 19600701 199002 2 001	**NIP. 19630106 198802 1 001**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Azis Muzlim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Mei 2016

Mahasiswa,

NUR RAHMA DONA
NIM. 12506030111102

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RINGKASAN

Nur Rahma Dona, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2016, **Kinerja Dielektrik Minyak Kelapa dengan Aditif Minyak Zaitun sebagai Isolasi**. Dosen Pembimbing: Moch. Dhofir dan Unggul Wibawa.

Minyak kelapa dapat difungsikan sebagai isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi. Tetapi minyak kelapa masih memiliki kekuatan dielektrik yang masih rendah, sehingga diperlukan pencampuran minyak zaitun sebagai zat aditif agar kekuatan dielektrik minyak kelapa (tegangan tembus) dapat meningkat dan layak digunakan sebagai alternatif isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi. Pencampuran dapat dilakukan dengan menambahakan minyak zaitun sebesar 5%-25% ke dalam minyak kelapa. Selain itu dilakukan pemurnian berupa pemanasan agar dapat mengurangi kadar air yang terkandung pada minyak kelapa. Untuk menentukan kelayakannya dibutuhkan pengujian secara elektris (dengan rangkaian pengujian tegangan tembus), fisis (pengujian kadar air menggunakan metode oven) dan analisis kandungan asam lemak jenuh sederhana menggunkan rumus pencampuran.

Dari hasil pengujian, nilai tegangan tembus minyak kelapa murni sebesar 23,47 kV/2,5 mm. Nilai ini belum memenuhi standar IEC 156, yaitu sebesar 30 kV/2,5 mm. Jika dicampur minyak zaitun tegangan tembus bisa mencapai 38,73 kV/2,5 mm dan jika dilakukan pemanasan tegangan tembus bisa mencapai sebesar 51,15 kV/2,5 mm. Tegangan tembus tertinggi sebesar 54,01 kV/2,5 mm jika dilakukan pencampuran minyak zaitun dan pemanasan sekaligus pada minyak kelapa. Hal tersebut menunjukkan, ketika ditambah minyak zaitun kadar asam lemak jenuh nya berkurang dari 91% menjadi 72,2% dan ketika dilakukan pemanasan kadar airnya berkurang dari 2697 ppm menjadi 361 ppm. Jika dilihat dari jumlah kadar air, minyak kelapa yang telah dimodifikasi belum lah memenuhi standar maksimum kadar air yang diizinkan sebesar 50 ppm (standar JIS 2320). Jika dilihat dari tegangan tembus, minyak kelapa yang telah diuji pada pengujian dapat bekerja pada peralatan listrik dengan level tegangan kerja 0,75 kV-13,2 kV.

Kata Kunci: Kinerja, Isolasi, Tegangan Tembus, Minyak Kelapa, Aditif, Minyak Zaitun

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

SUMMARY

Nur Rahma Dona, *Department of Electrical Engginering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2016,* ***Dielectric Perfomance of Coconut Oil with Olive Oil Additive as Insulating Oil****, Supervisor*: Moch. Dhofir and Unggul Wibawa.

Coconut oil can be used as an insulating liquid at high voltage equipment. But coconut oil is still has a low dielectric, so that the necessary mixing of olive oil as an additive that coconut oil dielectric strength (breakdown voltage) can be increased and can be usde as an alternative insulating liquid at high voltage equipment properly. Mixing can be done by adding the olive oil by 5% -25% in coconut oil. Moreover be purified form of heating in order to reduce the water content contained in coconut oil. The eligibility can be determined by electrically testing (with a breakdown voltage test series), physical (moisture content test using the oven method) and saturated fatty acids content analysis using the simple mixing formulas.

The result showed that the value of pure coconut oil breakdown voltage is 23,47 kV/2,5 mm. This value is not yet standard of IEC 156 which is 30 kV/2,5 mm. If with mixing olive oil, breakdown voltage can reach 38,78 kV/2,5 mm and if we do heating breakdown voltage can reach 51,15 kV/2,5 mm. The highest of breakdown voltage is 54,01 kV/2,5 mm if we do mixing olive oil and heating on coconut oil at once. That matter shows when olive oil added, saturated fatty acids content is reduced from 91% to 72,2% and when after the heating, the water content is reduced from 2697 ppm to 361 ppm. When water content level as point of view, which has been modified coconut oil is not yet standard of maximum permissible moisture content of 50 ppm (JIS 2320). When it viewed from the breakdown voltage, coconut oil has been tested on the test can work on electrical equipment with a working voltage level 0,75 kV 13,2 kV.

Keywords*: Performance, Insulation, Breakdown Voltage, Coconut Oil, Additive, Olive Oi*

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah Subhanahu Wa Taala, Rabb alam semesta. Dialah Allah, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Rasulullah Shallallahu Alaihi Wa Salam, Sang pembawa kabar gembira dan sebaikbaik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allah SWT semata sehingga dapat terselesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allah SWT, di kesempatan yang baik ini dihaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, ST.,MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Rini Nur Hasanah, Dr., ST., Msc. selaku KKDK Teknik Energi Elektrik yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan, nasehat, saran dan motivasinya.
4. Bapak Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT. selaku dosen pembimbing dan Ka. Lab Teknik Tegangan Tinggi yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran, masukan dan motivasinya.
5. Bapak Unggul Wibawa, Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran, masukan dan motivasinya.
6. Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasehat dan motivasi yang telah diberikan.
7. Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala alat serta sarana dan prasarana yang dimanfaatkan dalam melakukan penelitian ini.
8. Keluarga tercinta, kedua orang tua, Mbak Kiki, Mbak Yeyen, Mbak Lala dan Adek Adi yang selalu memberikan kasih sayang dan do'anya yang tiada akhir.

9. Keluarga besar laboratorium Mesin Elektrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya angkatan 2011, 2012 dan 2013 yang telah memberikan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Keluarga besar angkatan 2012 “VOLTAGE”, atas do'a, semangat, serta dukungan yang diberikan dalam penelitian ini.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allah SWT mencatat amal baik kepada semua pihak yang turut membantu menyelesaikan skripsi ini. Akhirnya, dapat di sadari bersama bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allahumma Amîn.

Malang, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR GAMBAR ..... **v**
DAFTAR TABEL ..... **viii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah **3**
1.4 Tujuan 3
1.5 Sistematika Pembahasan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Dielektrik Cair 5
2.2 Sifat-sifat Dielektrik 6
2.2.1 Minyak Sebagai Isolator 6
2.2.2 Minyak Sebagai Peredam Busur Listrik 7
2.2.3 Minyak Sebagai Pendingin 7
2.3 Minyak Isolasi 7
2.3.1 Sifat Fisika 8
2.3.2 Sifat Listrik 11
2.3.3 Sifat Kimia 14
2.4 Minyak Kelapa 16
2.4.1 Proses Pemurnian Minyak Goreng 17
2.4.2 Sifat Kimia Minyak Kelapa 18
2.4.3 Sifat Fisika Minyak Kelapa 21
2.5 Minyak Zaitun 22
2.6 Pengukuran Tegangan Tembus (Kekuatan Dielektrik) 23
2.7 Kegagalan pada Bahan Isolasi Cair. 25
2.8 Dasar Teori Kegagalan Zat Cair 26
2.8.1 Kegagalan Elektronik 27
2.8.2 Kegagalan Gelembung atau Kavitasi Zat Cair 29
2.8.3 Kegagalan Bola Cair dalam Zat Cair 30
2.8.4 Kegagalan Butiran Padat dalam Zat isolasi Cair 30
2.9 Pemurnian Bahan Isolasi Cair 32

BAB III METODE PENELITIAN 35
3.1 Studi Literatur 36
3.2 Persiapan Alat dan Fungsinya 36
3.3 Pengujian Objek Uji 38
3.3.1 Persiapan Objek Uji 38
3.3.2 Persiapan Gelas Uji *(Chamber)* 41
3.3.3 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus pada Pengujian Tegangan Tinggi Bolak- Balik (AC) 42
3.3.4 Pengujian Tegangan Tembus 43
3.3.5 Pengujian Kadar Air 44
3.4 Perhitungan Asam Lemak Jenuh 45
3.5 Analisa Data 46

BAB IV ANALISIS PENGARUH PENCAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN KENAIKAN SUHU PEMANASAN TERHADAP TEGANGAN TEMBUS 47
4.1 Hasil Pengujian Pengaruh Minyak Kelapa Murni Terhadap Tegangan Tembus 47
4.2 Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun Terhadap Tegangan Tembus 49
4.3 Hasil Pengujian Pengaruh Pemanasan Terhadap Tegangan Tembus 52
4.4 Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun dengan Pemanasan Terhadap Tegangan Tembus 59
4.5 Rekapitulasi Presentase Perbandingan Tegangan Tembus Rata- rata Minyak Kelapa. dengan Berbagai Cara Terhadap Minyak Kelapa Murni 74
4.6 Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun, Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan serta Minyak Trafo 77
4.7 Analisis Pengaruh Kandungan Lemak terhadap Tegangan Tembus Minyak Kelapa 81
4.8 Analisis Kandungan Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Kelapa 83
4.9 Analisis Selang Waktu Kenaikan dan Penurunan Suhu Minyak. 85
4.10Analisis Kelayakan Minyak Kelapa yang Telah Diolah sebagai Alternatif Isolasi Cair 88

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 91
5.1 Kesimpulan 91
5.2 Saran 92
DAFTAR PUSTAKA 95
LAMPIRAN 97

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bagian- bagian buah kelapa	16
Gambar 2.2	Reaksi kimia antara gliserol dan asam lemak ketika membentuk. trigliserida dalam minyak kelapa	18
Gambar 2.3	Struktur kimia asam lemak jenuh	19
Gambar 2.4	Struktur kimia asam lemak tak jenuh tunggal	19
Gambar 2.5	Struktur kimia asam lemak tak jenuh majemuk	19
Gambar 2.6	Minyak zaitun	23
Gambar 2.7	Suatu bahan isolasi diantara dua elektroda	24
Gambar 2.8	Elektroda standar sesuai VDE 0370	25
Gambar 2.9	Teori kegagalan pemurnian padat	27
Gambar 2.10	Teori kegagalan gelembung pada zat cair	29
Gambar 2.11	Teori kegagalan bola cair dalam zat cair	30
Gambar 2.12	Kegagalan butiran padat dalam zat isolasi cair	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Analisis Penelitian.	35
Gambar 3.2	Kotak Uji untuk Pengujian Tegangan Tembus Tampak Depan pada Elektroda Standart	41
Gambar 3.3	Kotak Uji untuk Pengujian Tegangan Tembus Tampak Atas pada Elektroda Standart	41
Gambar 3.4	Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC	42
Gambar 3.5	Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus (AC)	43
Gambar 4.1	Grafik tegangan tembus minyak kelapa murni	48
Gambar 4.2	Grafik pengaruh penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus	50
Gambar 4.3	Grafik presentase kenaikan tegagan tembus minyak kelapa menggunakan campuran minyak zaitun	51
Gambar 4.4	Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 30 menit	53
Gambar 4.5	Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 60 menit	54
Gambar 4.6	Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 90 menit	55

Gambar 4.7 Grafik tegangan tembus minyak kelapa yang dipanaskan secara bertahap sebagai fungsi suhu 56
Gambar 4.8 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 30 menit 57
Gambar 4.9 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 60 menit 58
Gambar 4.10 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 90 menit 59
Gambar 4.11 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 50°C 60
Gambar 4.12 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 60°C 62
Gambar 4.13 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 70°C 63
Gambar 4.14 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 80°C 65
Gambar 4.15 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 90°C 66
Gambar 4.16 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 30 menit 67
Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 60 menit 68
Gambar 4.18 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 90 menit 68
Gambar 4.19 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 30 menit 71
Gambar 4.20 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 60 menit 72
Gambar 4.21 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 90 menit 72
Gambar 4.22 Kondisi pengujian minyak 90°C 74
Gambar 4.23 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus dengan hanya menggunakan minyak zaitun dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan 75
Gambar 4.24 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus dengan hanya menggunakan 76

pemanasan dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan
Gambar 4.25 Tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran 78
minyak zaitun dan minyak trafo tanpa pemanasan
Gambar 4.26 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa 79
dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo
dengan pemanasan selama 30 menit
Gambar 4.27 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa 79
dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo
dengan pemanasan selama 60 menit
Gambar 4.28 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa 80
dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo
dengan pemanasan selama 90 Menit
Gambar 4.29 Grafik proses pemanasan minyak kelapa dan minyak trafo 86
Gambar 4.30 Grafik proses pendinginan minyak kelapa dan minyak trafo 88
Gambar 4.31 Tabel level isolasi peralatan listrik 89

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Spesifikasi standart SPLN 49 tahun 1982 tentang minyak isolasi baru	12
Tabel 2. 2	Komposisi *Glyceride*	20
Tabel 2. 3	Komposisi Asam Lemak pada Minyak Kelapa dan Minyak Alternatif Lain	21
Tabel 2.4	Perbandingan Sifat Fisika Minyak Kelapa Sawit, minyak Sayur dan Minyak Standar IEC 296	22
Tabel 2. 5	Komposisi Asam pada Minyak Zaitun	23
Tabel 3.1	Komposisi Penambahan Campuran Minyak Zaitun pada Susunan Elektroda Standar	39
Tabel 3.2	Komposisi Pengaruh Kenaikan Suhu Pemanasan Minyak Kelapa pada Susunan Elektroda Standar	40
Tabel 3.3	Komposisi Pengaruh Kenaikan Suhu Pemanasan Minyak Kelapa dan Penambahan Minyak Zaitun pada Susunan Elektroda Standar	40
Tabel 4.1	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni	48
Tabel 4.2	Data Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun Terhadap Tegangan Tembus	49
Tabel 4.3	Presentase Kenaikan Tegangan Tembus	51
Tabel 4.4	Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 30 Menit	52
Tabel 4.5	Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 60 Menit	53
Tabel 4.6	Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 90 Menit	54
Tabel 4.7	Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 30 Menit	57
Tabel 4.8	Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 60 Menit	57
Tabel 4.9	Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 90 Menit	58
Tabel 4.10	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50°C	60
Tabel 4.11	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60°C	61
Tabel 4.12	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 70°C	63
Tabel 4.13	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 80°C	64
Tabel 4.14	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 90°C	65
Tabel 4.15	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 5% Minyak Zaitun	69
Tabel 4.16	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 10% Minyak Zaitun	70
Tabel 4.17	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 15% Minyak Zaitun	70
Tabel 4.18	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 20% Minyak Zaitun	70

Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 25% Minyak Zaitun 71
Tabel 4.20 Perbandingan Kenaikan Tegangan Tembus dengan Hanya Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan dengan Menggunakan Campuran Minyak Zaitun serta Pemanasan 74
Tabel 4.21 Perbandingan Kenaikan Tegangan Tembus dengan Hanya Menggunakan Pemanasan dan dengan Menggunakan Campuran Minyak Zaitun serta Pemanasan 75
Tabel 4.22 Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Minyak Trafo tanpa Pemanasan 77
Tabel 4.23 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 30 Menit 77
Tabel 4.24 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 60 Menit 77
Tabel 4.25 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 90 Menit 78
Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Kadar Air 85
Tabel 4.27 Proses Pemanasan Suhu Minyak Mulai 28°C 86
Tabel 4.28 Proses Pendinginan 87

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang menyangkut peralatan adalah bahan listrik. Bahan isolasi adalah sejenis bahan listrik yang berfungsi sebagai pemisah pada bagian peralatan listrik yang memiliki beda potensial (Tobing, 2012: 23). Tujuan dari isolasi yaitu untuk melindungi peralatan listrik agar terhindar dari lompatan api (*flashover*) atau percikan dan menjaga peralatan listrik agar dapat bekerja secara kontinu dan stabilitas dari peralatannya dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Tidak hanya sebagai isolasi, tetapi juga sebagai media pendingin. Salah satu bentuk bahan isolasi adalah berupa isolasi cair (selain padat dan gas).

Pada kenyataannya bahan isolasi cair yang selama ini digunakan seperti minyak isolasi pada transformator (trafo) tenaga adalah berbasis minyak mineral. Selama lebih dari seratus tahun minyak bumi digunakan sebagai bahan minyak isolasi cair pada trafo dan peralatan tegangan tinggi, namun dengan meningkatnya krisis minyak bumi saat ini dan akan habis di masa depan serta minyak trafo yang digunakan sebagai isolasi cair selama ini kurang aman dan tidak ramah lingkungan, karena minyak bumi sulit terdegradasi, sehingga mencemari tanah dan air, menggangu perkebunan dan memiliki titik api rendah (Khan, 2013: 1), serta sebagian besar saat ini minyak yang digunakan mudah terbakar dan dapat meningkatkan kebakaran di trafo dan pemutus sirkuit (Abderrazzaq, 2012: 1673). Jika produk minyak bumi sewaktu-waktu habis, maka dibutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkanya lagi. Oleh karena itu, dibutuhkan isolasi cair yang dapat terdegradasi secara sempurna dan bahan organik yang ramah lingkungan, tidak beracun, memiliki titik api tinggi, yaitu minyak nabati.

Minyak nabati yang digunakan adalah minyak kelapa yang sudah diproses dan mudah didapat di Indonesia. Minyak nabati memerlukan pengolahan dan modifikasi untuk meningkatkan kinerja dielektriknya untuk menggantikan minyak isolasi pada trafo. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa dan kelapa sawit terbesar di dunia. Minyak kelapa sendiri hanya digunakan sebagai bahan dasar untuk menggoreng dan kosmetik

kecantikan. Jika dibandingkan minyak bumi, minyak kelapa jauh lebih sedikit manfaatnya. Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) adalah jenis lain dari minyak *biodegradable* dianggap sebagai cairan isolasi dielektrik pada trafo. Dengan perkembangan ilmu dan penelitian, minyak kelapa dapat ditambah fungsinya sebagai minyak isolasi pada trafo berbasis minyak nabati. Minyak kelapa berbeda dari beberapa jenis minyak nabati lainnya, karena memiliki asam lemak jenuh yang tinggi sekitar 90% dan sekitar 65% termasuk rantai menengah dan pendek. Jumlah asam lemak jenuh yang tinggi menyebabkan kenaikan titik leleh, tapi untuk sisi positif, karena peningkatan stabilitas minyak-udara tingkat oksidasinya rendah, itu berarti minyak kelapa tahan terhadap oksidasi. Minyak kelapa juga memiliki lebih tinggi kandungan asam lemak bebas yang meningkatkan tingkat konduktivitas. (Matharage, 2013: 888)

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, 2004). Hal ini sangat berkebalik dengan kandungan asam lemak jenuh yang tinggi pada minyak kelapa. Oleh karena itu, perlunya penelitian tentang kinerja dielektrik minyak kelapa sebagai alternatif minyak isolasi pada trafo yang masih sedikitnya dilakukan penelitian.

Karena masih sedikitnya penelitian yang dilakukan terhadap prospek potensi minyak kelapa sebagai bahan isolasi cair, maka tidak ada salahnya dilakukan penelitian tentang karakteristik kinerja dielektrik (dalam hal ini kekuatan dielektrik atau tegangan tembus) minyak kelapa sebagai layaknya fungsi bahan isolasi cair. Pada penelitian skripsi kali ini akan di teliti pengaruh suhu pemanasan minyak, sehingga mendapatkan karakteristiknya serta penerapan baru menggunakan minyak zaitun sebagai zat aditif yang tidak beracun, karena kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi dan tegangan tembus yang tinggi dari minyak zaitun dapat meningkatkan kinerja dielektrik dari minyak kelapa dan dapat dibandingkan hasil keduanya serta dapat digunakan sebagai alternatif minyak isolasi pada trafo daya serta peralatan listrik di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

a. Bagaimana pengaruh penambahan minyak zaitun sebagai campuran terhadap tegangan tembus, kadar air dan asam lemak jenuh pada minyak kelapa.
b. Bagaimana pengaruh suhu dan lama pemanasan minyak terhadap tegangan tembus, kadar air pada minyak kelapa.
c. Bagaimana pengaruh penambahan minyak zaitun dan pemanasan terhadap tegangan tembus.
d. Bagaimana karakteristik perbandingan hasil tegangan tembus dielektrik menggunakan beberapa penerapan dan dengan minyak trafo?
e. Berapakah level tegangan kerja peralatan listrik jika menggunakan minyak isolasi yang telah diuji?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Minyak kelapa yang digunakan adalah minyak goreng kelapa yang diproduksi di Indonesia, yaitu Yogyakarta.
b. Pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
c. Pengujian kadar air dilakukan di Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
d. Elektroda yang dipakai adalah setengah bola-setengah bola dengan kotak uji standar.
e. Jarak sela antar elektroda 2,5 mm.
f. Untuk pengujian ini, tidak membahas struktur kimia dan reaksi kimia dari pencampuran minyak kelapa dan minyak zaitun dan tingkat keasaman minyak.
g. Tidak mengamati gas yang terlarut dalam minyak.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah mengkaji, menganalisis dan mendapatkan karakteristik pegaruh penambahan minyak zaitun dan suhu pemanasan terhadap tegangan tembus sebagai bahan isolasi cair. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh gambaran seberapa besar keyakinan potensi minyak kelapa yang telah diolah atau modifikasi ini dapat dijadikan sebagai bahan isolasi cair sebagai pengganti minyak isolasi berbasis mineral.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Menguraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Menguraikan tentang metode dan langkah kerja yang terdiri dari studi literatur, pengujian tegangan tembus dan kadar air, penambahan minyak zaitun dan pemanasan serta menganalisanya, kesimpulan dan saran.

BAB IV : Menguraikan perhitungan, analisis dan pembahasan terhadap besarnya tegangan tembus dan kadar air dengan penambahan minyak zaitun dan tanpa campuran minyak zaitun serta degan pemanasan dan tanpa pemanasan.

BAB VI : PENUTUP

Menguraikan kesimpulan yang diperoleh dari analisis data hasil pengujian yang dikembangkan dalam tugas akhir ini serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dielektrik Cair

Dielektrik cair merupakan salah satu jenis dielektrik yang digunakan sebagai pemisah dua atau lebih elektroda bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan 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. Berikut ini adalah jenis-jenis dari dielektrik cair: (Setiabudy, 2007: 145)

a. Minyak Mineral

Minyak mineral merupakan campuran beberapa jenis Hidrokarbon yang diperoleh dari minyak alam mentah melalui proses destilasi bertingkat dan rafinasi. Minyak ini memiliki komponen utama berupa *parafine*, *naphthene*, *aromete* dan *olefin*. Sifat listrik minyak mineral akan berkurang jika kandungan air meningkat. Pada suhu 40^{o}C dan kadungan air 40 ppm, kekuatan dielektrik minyak mineral akan berkurang dibandingkan dengan kandungan air yang lebih kecil.

b. Hidrokarbon Murni

Salah satu yang merupakan golongan dari hidrokarbon murni adalah *polysobuten* yang merupakan polimerisasi buten dari rantai *polyolefin*. Bahan pengisi kapasitor biasanya digunakan *polysobuten* dikarenakan memiliki vikositas yang tinggi.

c. Askarel

Askarel merupakan bahan isolasi yang tidak mudah terbakar. Askarel memiliki permitivitas yang tinggi. Askarel digunakan pada kapasitor dan trafo distribusi, askarel sulit terurai dengan dan tidak ramah lingkungan. Askarel sering dikenal dengan sebutan *polychlorinated biphenyl*.

d. Cairan Silikon

Cairan silikon digunakan sebagai pengganti askarel dan bahan pengisi kapasitor serta trafo distribusi. Cairan silikon memiliki sifat tidak mudah terbakar, tidak beracun dan

ramah terhadap lingkungan, tetapi sangat mahal. Cairan silikon tahan terhadap tekanan termal sampai 300^{o}C.

2.2 Sifat-sifat Dielektrik

Sebagai bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan atau sifat dielektrik diantaranya adalah sebagai berikut: (PLN, 2003)

a. Menahan terhadap tegangan tembus (semakin tinggi nilai tegangan tembusnya maka kualitas isolasinya akan semakin baik).
b. Sebagai bahan pendingin yang harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih perlu dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk menyalurkan panas dari trafo.
c. Sebagai media untuk memadamkan busur api karena pada saat beroperasi trafo dapat menghasilkan senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan adanya dampak gangguan, kenaikan suhu yang berlebih akan memungkinkan terjadinya loncatan bunga api didalam belitan trafo tersebut.
d. Melindungi belitan dan *body* trafo dari terjadinya oksidasi dan korosi.

2.2.1 Minyak Sebagai Isolator

Isolator yang dikenal sampai saat ini ada tiga macam, isolator padat, cair, dan gas. Isolasi cair memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan isolasi padat dan gas, sehingga isolasi cair banyak digunakan saat ini. Alasan kenapa isolasi cair lebih banyak digunakan adalah sebagai berikut: (Arismunandar, 1983: 138)

a) Isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan gas dan berdasarkan Hukum Paschen isolasi cair memiliki kekuatan dielektrik lebih tinggi dari gas yaitu mencapai 10^7 V/cm. Tetapi dalam praktiknya kekuatan dielektrik ini dicapai hanya sampai 100 kV/cm.
b) Isolasi cair memiliki kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan juga menambah kelebihan isolasi cair dibadingkan dengan yang lain.
c) Isolasi cair mampu mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi sebagaimana gas dan secara serentak menghilangkan atau melepaskan panas melalui konversi energi dan memberikan kualitas isolasi yang lebih baik.

Sebagai isolator minyak isolator harus selalu bersih dan bebas dari kelembaban, produk-produk oksidasi dan pengotor lainnya, karena dapat menurunkan kualitas isolasi yang dimilikinya. Tegangan tembus pada isolasi cair dipengaruhi beberapa hal antara lain suhu, bentuk elektroda, sela elektroda, tingkat ketidakmurnian dan pergerakan dalam isolasi cair. Adanya ketidakmurnian sangat mempengaruhi kekuatan isolasi dalam mencegah terjadinya tembus antar dua peralatan tegangan tinggi yang diisolasi.

2.2.2 Minyak Sebagai Peredam Busur Listrik

Minyak isolasi mempunnyai titik nyala (*flash point)* tinggi dan tidak mudah menguap (titik uap tinggi) sehingga selain dimanfaatkan sebagai isolator dalam peralatan penghubung rangkaian (*switchgear)* minyak juga meredam busur listrik selama proses membuka dan menutupnya saklar atau pemutus rangkaian (*circuit breaker)*, khususnya ketika pemutus rangkaian membebaskan sistem dari gagguan, sehingga bunga api listrik bisa terjadi dalam waktu yang singkat. Tetapi saat ini pemanfaatan minyak isolasi untuk peralatan penghubung (*switchgear)* telah bayak berkurang dan digantikan oleh gas SF6 dan vakum. Selain itu fungsi yang sama minyak diguakan pada pengubah tap pada *On Load Tap Changer* (OLTC) trafo.

2.2.3 Minyak Sebagai Pendingin

Efisiesi semua proses konversi energi tidak dapat mencapai seratus persen, hal ini diakibatkan oleh adanya energi yang hilang yang disebut rugi-rugi. Hal ini juga terjadi pada trafo. Energi yang hilang pada trafo diharapkan dapat berfungsi sebagai pendingin yang dapat mengurangi panas yang dihasilkan.

Minyak sebagai dielektrik cair merupakan media yang sangat efisien dalam menyerap panas yang ditimbulkan oleh inti besi dan kumparan dan secara bersamaan melepaskan panas tersebut secara konveksi. Minyak mempunyai kemampuan melepaskan panas ini sepuluh kali lebih efisien dibandingkan dengan nitrogen. Sehingga selain berfungsi sebagai isolator, minyak juga dimanfaatkan sebagai pendingin.

2.3 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 didalam trafo memiliki sifat fisika, listrik, dan kimia.

2.3.1 Sifat Fisika

Sifat-sifat fisika yang penting adalah seperti yang disebutkan dibawah ini:

a. Daya Hantar Panas (Konduktivitas Termal)

Panas yang didesipasikan oleh penghantar atau rangkaian magnetik pada mesin listrik melalui bahan isolasi diteruskan ke udara sekelilingnya (Muhaimin, 1999: 7). Daya hantar panas mengalami perubahan jika suhu berubah asalkan minyak belum mencapai titik bekunya. Pada suhu 60^{o}F hampir semua jenis minyak mineral (minyak isolasi) mempunyai harga konduktivitas termal sekitar 3 x 10^{-4} kal/cm.s.^{o}C. Sebagai bahan isolasi harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi. (Tobing, 2012: 25)

b. Panas Jenis

Panas jenis adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah (pada kondisi tertentu) suhu dari satu satuan massa sebanyak satu derajat. Panas jenis dan konduktivitas termal diperlukan dalam penggunaan dimana minyak bekerja sebagai pendingin dan media perambat panas disamping sebagai isolasi. Pada suhu 60^{o}C panas jenis minyak trasformator adalah 0,487 kal/gram dan pada suhu 25^{o}C adalah 0,45 kal/gram. Hubungan antara panas jenis, perubahan suhu dan massa ditunjukkan oleh rumus empiris berikut:

$$C = \frac{Q}{m.(\Delta t)} \qquad (2 - 1)$$

Keterangan:

C = panas jenis (kal.g^{-1}.$^{o}C^{-1}$)

Δt = perubahan suhue (^{o}C)

Q = perubahan panas (kal)

m = masaa material (gram)

c. Koefisien Muai Volume

Bila suhu berubah maka akan terjadi pula perubahan volume (kecil sekali) yang menyebabkan perubahan massa jenisnnya karena massa minyak tidak berubah.

$$Vt_2 = Vt_2 + \alpha(t_2 - t_1)Vt_1 \qquad (2 - 2)$$

Keterangan:

Vt_2, Vt_1 = volume minyak pada suhue t_2, t_1

t_1, t_2 = suhu (^{o}C)

α = koefisien muai volume minyak

d. Massa jenis

Massa jenis suatu zat didefinisikan sebagai massa (m) persatuan volume (V) pada suhu dan tekanan tertentu diberikan pada persamaan (2-3) untuk referensi, air pada suhu 4°C dan tekanan 76 mmHg mempunyai massa jenis (ρ) sebesar 1 gram/cm^3.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2 - 3)$$

Jika suhu naik terjadi perubahan volume (2 - 2) sehingga massa jenis akan berkurang. Besar kecilnya perubahan ini tergantung komposisi minyak (*naphtena, paraffin* atau campuran).

Tes ini memiliki makna khusus ketika trafo dioperasikan di zona suhu yang sangat rendah. Nilai maksimum kepadatan tetap pada 27°C memastikan bahwa air dalam bentuk es hadir dalam minyak tetap di bagian bawah dan tidak cenderung mengapung di minyak hingga suhu sekitar -10°C (Bharat, 1987: 34). Sesuai SPLN nilai massa jenis minyak tidak boleh melebihi 0,859 g/cm^2 pada suhu 20°C

e. Viskositas

Secara mekanika, viskositas dirumuskan oleh Poiseuille menurut hubungan berikut.

$$\mu = \frac{\pi . P r^4}{8 V l} t \ \ poise \qquad (2 - 4)$$

Keterangan:

μ = Viskositas (poise)

P = Tekanan (atm)

R = Jari-jari (m)

l = Panjang tabung (m)

V= Volume cairan yang mengalir (liter)

t = Lama aliran (detik)

Viskositas ini disebut viskositas dinamis atau viskositas mutlak. Yang lebih banyak digunakan adalah viskositas kinematis, satuanya adalah stokes, tetapi yang lebih umum dipakai adalah senti-stokes (cSt). Viskositas atau biasa disebut kekentalan sangat penting pada isolasi cair. Hal ini dikarenakan viskositas berpengaruh pada kemurnian isolasi cair (banyaknya kontaminan partikel padat) dan pendinginan suatu peralatan listrik. 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.

Umumnya minyak isolasi pada trafo memiliki viskositas (kekentalan) yang rendah, titik nyala yang tinggi sehingga tidak mudah tersulut api. Selain itu minyak trafo mempunyai kerapatan yang tinggi bila dibandingkan Nitrogen dan gas, dan bukan hanya itu, minyak trafo juga memiliki daya hantar panas yang baik sehingga dimanfaatkan sebagai pendingin.

Viskositas yang tinggi pada suhu rendah sangat tidak diharapkan karena akan mengganggu perpindahan dan pembuangan panas serta mempersulit sirkulasi minyak, akibatnya kerja bagian-bagian mekanik seperti pompa akan berkerja juga bertambah berat.

f. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang adalah suhu terendah dimana miyak dapat mengalir pada kodisi tertentu. Titik didih yang menentukan daya alir minyak mempunyai arti yang cukup penting dalam pengoperasian peralatan. Titik tuang yang diharapkan mempunyai harga serendah mugkin agar pada suhu yang rendah miyak tetap dapat megalir.

Tinggi rendanya titik tuang dipengaruhi oleh kadar lilin (*wax*) dalam minyak. Lilin terutama tersusun atas *paraffin* normal yang mempunnyai titik didih tinggi. Titik tuang terendah diperoleh apabila minyak dapat dibebebaskan dari lilin.

g. Daya Melarutkan

Daya melarutkan ini akan mempengaruhi pemilihan bahan- bahan konstruksi di dalam trafo. Bahan yang mudah larut dalam cairan isolasi akan merusak sifat-sifat listrik cairan isolasi, bahkan akan mempercepat laju kerusakan tersebut bersifat katalis.

h. Tekanan Uap Minyak

Tekanan uap minyak isolasi yang dibicarakan dalam hubungannya dengan penampilan perlatan listrik. Sifat ini lebih sering diajukan untuk peralatan yang tertutup seperti kapasitor dan kabel, karena hidrokarbon yang menguap dapat mempengaruhi terjadinya tembus (*discharge*).

i. Ketahanan Terhadap Api

Minyak trafo mudah terbakar dan proses pembakarannya merupakan reaksi eksotermis tinggi yang menyebabkan perambatan panas. Indikasi kemampuan terbakar minyak dapat

ditentukan oleh beberapa pengujian yang meliputi titik nyala, titik api dan suhu penyalaan sendiri. Minyak yang baik mempunyai harga yang tinggi untuk ke tiga sifat tersebut.

j. Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu terendah dihasilkan uap dalam jumlah yang cukup untuk menyalakan minyak dalam waktu singkat jika api diberikan dalam kodisi tertentu. Titik nyala yang disyaratkan adalah 140^{o}C untuk kelas I. Titik api adalah suhu terendah dimana uap dalam jumlah yang cukup dihasilkan untuk menjaga api selama lima menit jika api diberikan. Biasanya titik api 10^{o} C lebih tinggi dibandingkan titik nyala.

k. Tegangan Permukaan

Tegangan antar muka minyak adalah tegangan atau gaya tarik molekul pada antar muka minyak dan air yang dinyatakan dalam dyne/cm. Nilai tegangan antar muka dapat digunakan untuk mendeteksi adanya kontaminan polar serta hasil oksidasi didalam minyak isolasi. Turunnya tegangan ini menandakan adanya kontaminan polar dan hasil oksidasi didalamnya, minyak dalam kondisi baru mempunyai nilai tegangan antar muka 40-50 dyne/cm. Dalam bulan-bulan awal penggunaan minyak didapatkan adanya penurunan tegangan antar muka yang cukup drastis. Hal ini tidak menunjukan adanya kerusakan yang drastis tetapi hanya merupakan tanda bahwa zat-zat polar telah larut didalam minyak.

l. Kandungan Air

Adanya air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi, juga adanya air ini akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (*insulating paper*). Untuk itu pemeriksaan yang rutin (periodik) terhadap trafo/ minyak trafo ini akan dapat mencegah sedini mungkin kerusakan isolasi minyak. Kandungan air maksimum yang diizinkan menurut JIS (*Japanese Industrial Standard*) 2320 adalah 50 ppm *(part per million*).

2.3.2 Sifat Listrik

Agar minyak dapat berfungsi sebagai isolasi yang baik maka diperlukan adanya perhatian pada sifat-sifat listriknya. Karakteristik yang perlu diketahui adalah:

a. Tegangan tembus

Tegangan tembus adalah tegangan dimana tembus listrik antara elektroda yang terpisah 2,5 mm pada laju kenaikan tegagan standar IEC. 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. Spesifikasi penggunaan dan perawatan trafo di paparkan di dalam standart SPLN 49 tahun 1982 pada penggunaan trafo. Standart tersebuat dapat diamati pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Spesifikasi standart SPLN 49 tahun 1982 tentang minyak isolasi baru

No	Sifat	Satuan	Kelas 1	Kelas 2	Metode uji
1	Kejernihan		Jernih		IEC 296
2	Massa Jenis 20°C	g/cm3	≤ 0,895		IEC 96
3	Viskositas 20°C	CSt	≤ 40	≤ 25	IEC 96
	Kinematika -15°C	CSt	≤ 800	-	IEC 96
	Kinematika -30°C	CSt	-	≤ 800	IEC 96
4	Titik Nyala	°C	≥ 140	≥ 130	IEC 296 A
5	Titik Tuang	°C	≤ -30	≤ -40	IEC 296
6	Angka kenetralan	mg KOH/gr	≤ 0,03		IEC 296
7	Korosi Belerang	-	Tidak korosif		IEC 296
8	Tegangan tembus a. Sebelum diolah b. Sesudah diolah	kV/2.5mm	 ≥ 30 ≥ 50		IEC 296
9	Faktor kebocoran elektrik	-	≤ 0,05		IEC 250
10	Ketahanan oksidasi a. Angka kenetralan b. Kotoran	 Mg KOH/gr %	 ≤ 0,40 ≤ 0,10		IEC 474 & IEC 74

Sumber : SPLN (1982)

Menurut (SPLN 49 – 1: 1982) tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukan adanya kontaminasi seperti air, kotoran, debu atau partikel konduktif dalam minyak. Dari Tabel 2.1 Untuk minyak baru, angka tegangan tembus adalah:

1. Sebelum difilter = 30kV/2,5mm atau 80 kV/mm
2. Setelah difilter = 50kV/2,5mm atau 120 kV/mm

Angka tegangan tembus tersebut menjadi petunjuk umum untuk dilakukan pengujian dan standar minyak isolasi yang akan digunakan. Jika kurang dari 30kV/2,5mm berarti minyak belum layak untuk dijadikan minyak isolasi.

b. Tahanan Jenis (Resistivitas)

Sesuai dengan fungsinya, bahan isolasi yang baik adalah bahan isolasi yang mempunyai resistivitas yang tak terhingga. Tetapi pada kenyatannya bahan yang demikian belum bisa diperoleh. Sampai saat ini semua bahan isolasi pada teknik listrik masih mengalirkan arus listrik (walaupun kecil) yang lazim disebut arus bocor. Hal ini menunjukkan bahwa resistansi bahan isolasi bukan tidak terbatas besarnya. Besarnya resistivitas bahan isolasi sesuai dengan persamaan berikut: (Muhaimin, 1993: 3)

$$\rho = \frac{R \,.\, A}{s} \qquad (2 - 5)$$

$$R = \frac{V}{I_k} \qquad (2 - 6)$$

Keterangan:

ρ : Resistivitas Minyak Isolasi (Ωm)

R : Resistansi Isolasi (ohm)

V : Tegangan Sumber yang diberikan (V)

A : Luas permukaan elektroda (m^2)

s : Jarak sela elektroda (m)

I_k : Arus konduksi (ampere)

c. Permitivitas

Setiap bahan isolasi mempunyai permitivitas yang berbeda. Permitivitas minyak isolasi dapat dihitung dari kapasitansi minyak isolasi tersebut dengan persamaan sebagai berikut: (Muhaimin, 1999: 4)

$$\varepsilon_r = \frac{C.\, s}{\varepsilon_0 \,.A} \qquad (2 - 7)$$

Keterangan:

C : Kapasitansi dari bahan dielektrik (F)

ε_r : Permitivitas bahan dielektrik (F/m)

s : Jarak antar sela ke kapasitor (m)

A : Luas permukaan keping kapasitor (m^2)

ε_0 : Permitivitas vakum atau konstanta listrik (8, 85 x 10^{-12} F/m)

d. Rugi Daya dalam Dielektrik

Salah satu karakteristik penting material isolasi adalah facktor daya atau tangen rugi-rugi dielektrik. Nilainya dapat digunakan sebagai penunjuk bagaimana kualitas dilektrik tersebut. Tan δ (50 Hz) adalah 0,001 dan pada 1 kHz adalah 0,0005.

Karakteristik tan δ merupakan alat yang berharga untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik dan cukup peka untuk mendeteksi dan menilai kerusakan dielektrik karena telah dipergunakan dalam waktu yang lama.

Pengujian tan δ akan dapat menentukan apakah zat-zat kontaminan yang ada masih dalam batas yang diijinkan. Pengaruh langsung naiknya tan δ adalah terjadinya kenaikan pemanasan dielektrik, sedagkan pengaruh tidak langsungnya adalah naiknya korosi logam, laju kerusakan dielektrik, kelarutan air, emulsifikasi air dan kecepatan oksidasi.

Rugi daya yang dimaksud serta proses penyebanya adalah sebagai berikut: (Kind, 1993: 64)

1. Rugi konduksi P_1 akibat konduksi ion ataupun elektron karena nilai konduktivitas (σ).
2. Rugi Polarisasi Pp akibat polarisasi arah, bidang batas, atau perubahan bentuk.
3. Rugi ionisasi Pi akibat peluahan parsial (*partial discharge*) dalam atau pada suatu susunan isolasi.

e. Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik minyak isolasi akan bervariasi sedikit tergantung pada komposisi senyawanya. Minyak dengan senyawa dasar paraffin mempunyai kostanta yang lebih rendah dibandingkan dengan *naphtena* dan *aromatic*. Penggunaan minyak dengan konstanta dielektrik rendah yang diserikan dengann isolasi kedua (padat) akan menyebabkan ketidakseimbagan tegangan. Disamping itu miyak lebih mudah mengalami degradasi dielektrik sehingga minyak merupakan titik lemah dalam disain trafo. Hal ini dapat dihindari dengan menggunakan caira sintetis dengan kostanta dielektrik yang lebih tinggi.

2.3.3 Sifat Kimia

a. 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.

Studi tentang pengaruh hasil oksidasi bukan hanya efeknya saja, seperti naikya rugi-rugi dielektrik, korositivitas, masalah perpindahan panas karena terbentuknya endapan, tetapi yang lebih penting dari itu adalah mengetahui seberapa jauh kerusakan yang telah terjadi pada minyak. Pengaruh hasil oksidasi tergantung pada jenis dan fungsi peralatan listrik. Pada trafo yang penting adalah efek terbentuknya endapan pada proses pembetukan panas, juga masalah tegangan tembus (kekuatan dielektrik). Beberapa hasil oksidasi pada minyak yaitu korosi, uap basah (*moisture*), sabun (*soap*), pembetukan gas, sifat listrik, dan endapan. Minyak yang baik adalah minyak adalah minyak yang tahan terhadap oksidasi.

b. Daya Larut Air dalam Minyak Trafo

Sifat isolasi dari minyak akan memburuk jika didalamnya terdapat air. Dalam proses perencanaan dan perawatan trafo perlu selalu diketahui seberapa jauh kerusakan yang disebabkan oleh air. Air akan merusak sifat dielektrik minyak dan isolasi-isolasi lain yang terendam dalam minyak.

Besarnya kelarutan air tergantung pada susunan kimia minyak dan proses penyulingan yang dilakukan. Kelarutan air cukup karena terdapat perbedaan ukuran yang besar atara molekul air dan molekul minyak.

c. Angka Kenetralan

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolasi dan dapat di deteksi kontaminasi dialiri minyak yang menunjukkan kecendrungan perubahan kimia atau cacat atau indikasi perubaha kimia dalam bahan tambah (*additive*).

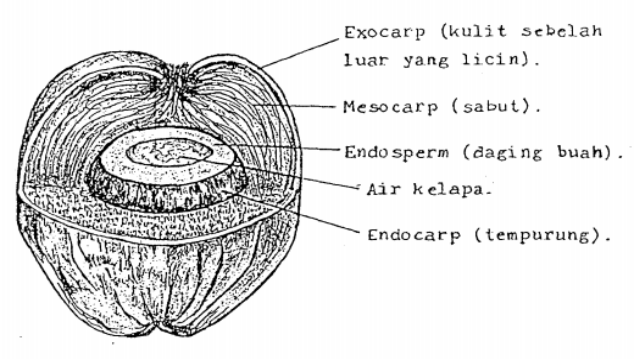
Pada kondisi operasi trafo dalam keadaan bertegangan yang dialiri dengan arus listrik, maka panas yang timbul berkisar 60^{o}C s/d 80^{o}C. Panas ini akan disalurkan oleh minyak dengan cara konveksi dan radiasi ke udara luar yang mengandung zat asam bercampur dengan minyak yang selanjutnya akan terjadi persenyawan asam dan air yang lambat laun akan menaikkan kadar asam. Bila hal ini dibiarkan terus menerus, maka akan berakibat merusak isolasi minyak dan lilitan/ kumparan trafo. Viskositas menjadi kental, daya pendinginan minyak akan berkurang dan tegangan tembus kan berkurang.

Angka kenetralan ini dapat dipakai sebagai petunjuk umum. Bila kadar minyak lebih besar dari angka 0,03 mg KOH/gr, maka minyak sudah harus diganti atau di filter. Spesifikasi penggunaan dan perawatan trafo di paparkan di dalam standart SPLN 49 tahun 1982 pada penggunaan trafo. Standart tersebuat dapat diamati pada Tabel 2.1.

2.4 Minyak Kelapa

Kelapa (*cocoa nucifera. L*) merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Hampir semua bagian dari tanaman kelapa ada gunanya baik batang, buah, bunga, pelepah maupun daunnya. Bagian yang paling tinggi memberikan nilai ekonomi adalah buahnya.

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 buah kelapa berbentuk bulat panjang dengan ukuran kurang lebih sebesar kepala manusia. Buah terdiri dari empat bagian pokok yaitu sabut (*exocarp* dan *mesocarp*), tempurung (endocarp), daging buah (*endosperm*) dan air kelapa. Tebal sabut kelapa kurang lebih 5 cm tergantung varietasnya, sedangkan tebal daging buah kelapa adalah kira-kira 1 cm atau lebih. Bagian-bagian dari buah kelapa dapat dilihat dari gambar. Sedangkan komposisi dari buah kelapa adalah 35% sebut, 12% tempurung, 28% daging buah dan 25% air kelapa.



Gambar 2.1 Bagian- bagian buah kelapa
Sumber: MAPI.pdfbit.com/pr/produksi-minnyak kelapa-pdf.html.

Buah kelapa sebagai bahan makanan di negara kita sudah tidak asing lagi, di mana rata-rata hampir setiap hari digunakan di tiap-tiap rumah tangga. Kelapa merupakan tanaman penghasil minnyak yang penting di negara-negara tropis. Salah satu negara penghasil kelapa di dunia adalah Indonesia, hampir semua pulau di Indonesia tumbuh pohon kelapa. Kecuali daging buah kelapa yang dapat digunakan sebagai sumber minyak, bagian-bagian yang lain dari buah

kelapa seperti sabut, tempurung, air kelapa dan ampas kelapa juga dapat digunakan untuk bermacam-macam kebutuhan.

Minyak kelapa merupakan minyak yang diperoleh dari kopra (daging buah kelapa yang dikeringkan) atau dari perasan santannya. Kandungan minyak pada daging buah kelapa tua diperkirakan mencapai 30% - 35%, atau kandungan minyak dalam kopra mencapai 63-72%.

Secara garis besar proses pembuatan minyak kelapa dapat dilakukan dengan dengan dua cara:

1. Minyak kelapa diekstrak dari daging kelapa segar, atau dikenal dengan proses basah. Untuk menghasilkan minyak dari proses basah dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:
   a. Cara basah tradisional
   b. Cara basah fermentasi
   c. Cara basah sentrifugasi
   d. Cara basah dengan penggorengan
2. Minyak kelapa diekstrak dari daging kelapa yang telah dikeringkan (kopra) atau dikenal proses kering. Untuk menghasilkan minyak dari proses basah dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:
   a. Ekstraksi secara mekanis (cara pres)
   b. Ekstraksi menggunakan pelarut

Minyak kelapa juga merupakan minyak nabati (ester alami) digunakan untuk tujuan memasak dan tersedia secara luas di negara-negara tropis seperti India dan Sri Lanka. Namun, sebagian besar dari yang fisik dan sifat kimia karakteristik isolasi cair telah terbukti pada tingkat yang memuaskan. (Matharage, 2013: 888)

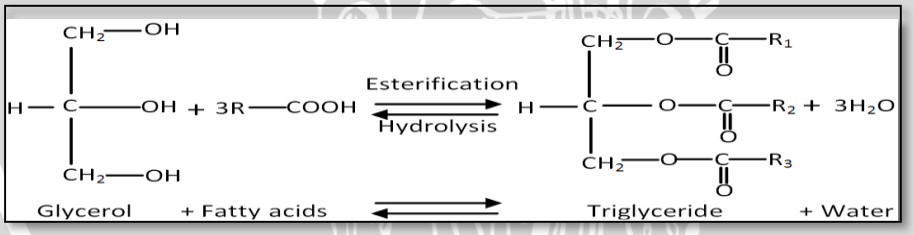
2.4.1 Proses Pemurnian Minyak Goreng

Pemurnian (*refining*) minyak goreng meliputi tahapan netralisasi, pemucatan (*bleaching*) dan penghilangan bau (deodorisasi). Netralisasi dilakukan untuk mengurangi FFA untuk meningkatkan rasa dan penampakan minyak. Netralisasi dilakukan dengan mereaksikan NaOH dengan FFA sehingga membentuk endapan minyak tak larut yang dikenal sabun (*soapstock*). Jumlah NaOH yang ditambahkan berkisar 0,1% atau sekitar 1,5 kg NaOH per ton minyak per 1% FFA.

Untuk menghilangkan pengotor berupa gum di dalam minyak digunakan H3PO4 selanjutnya dipisahkan melalui cara pengendapan (*decantion*) atau dengan sentrifugasi. Pemucatan (*bleaching*) menghilangkan sebagian besar bahan pewarna tak terlarut atau bersifat koloid yang memberi warna pada minyak. Pemucatan dapat dilakukan dengan menggunakan karbon aktif atau *bleaching earth* (misalnya bentonit) 1% sampai 2% atau kombinasi keduanya (arang aktif dan bentonit) yang dicampur dengan minyak yang telah dinetralkan pada kondisi vakum sambil dipanaskan pada suhu 95^{o}C–100^{o}C. Selanjutnya bahan pemucat dipisahkan melalui filter press. Proses deodorisasi akan menghilangkan bau dan *flovours* yang bersifat menguap, pada saat minyak dipanaskan pada suhu antara 150 – 250^{o}C menggunakan *steam* yang kontak dengan minyak pada condisi vakum dengan tekanan 29 Psig.

2.4.2 Sifat Kimia Minyak Kelapa

Minyak kelapa sebagaimana minyak nabati lainnya merupakan senyawa trigliserida (Tabel 2.2). Gambar 2.2 menunjukkan reaksi yang khas terjadi antara gliserol dan asam kelompok untuk membentuk trigliserida. Trigliserida mengandung asam lemak yang berbeda (R1, R2 dan R3) yang mungkin jenuh atau tidak jenuh tergantung pada jenis minyak. Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan komposisi asam di minyak kelapa dengan minyak nabati lainnya yang umum digunakan di trafo.

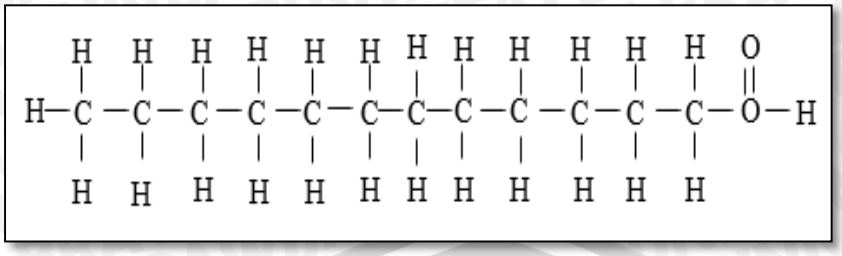


Gambar 2.2 Reaksi kimia antara gliserol dan asam lemak ketika membentuk trigliserida dalam minyak kelapa.

Sumber: Matharage (2013: 888)

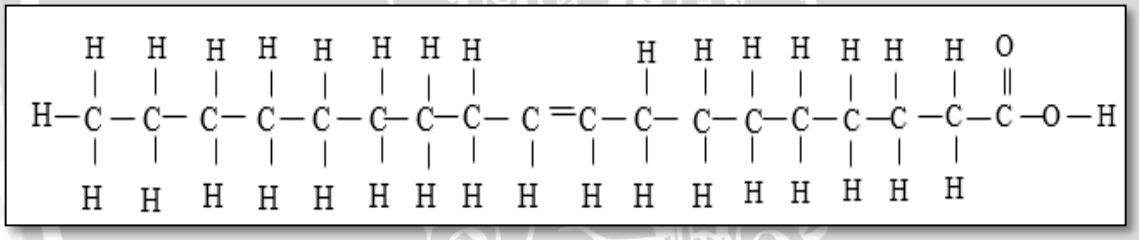
Jenis asam lemak tersebut dapat berupa: (Rahardjo, 2004)

a. Asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*= SFA), asam laurat (*Lauric Acid*) terdiri dari 12 atom karbon (lihat Tabel 2.3), yang diikat jenuh oleh atom Hidrogen dan tidak ada ikatan ganda. Asam lemak ini tergolong asam lemak rantai sedang (medium, MCFA). Struktur kimia dari asam lemak jenuh diperlihatkan pada Gambar 2.3.



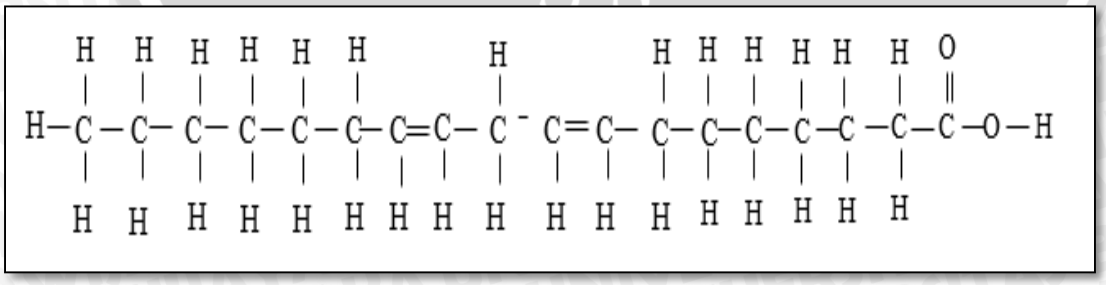
Gambar 2.3 Struktur kimia asam lemak jenuh

b. Asam lemak tak jenuh yang dapat dibedakan menjadi asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA= *Monounsaturated Fatty Acid*) yang hanya memiliki satu ikatan rangkap dan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA= *Polyunsaturated Fatty Acid*) yang memliki lebih dari satu ikatan rangkap. Asam lemak tak jenuh tunggal, asam oleik (*Oleic Acid*) terdiri dari dari 18 atom karbon (lihat Tabel 2.3) dimana satu pasang karbon atom diganti oleh satu ikatan ganda dan asam lemak ini tergolong dalam asam lemak rantai panjang. Struktur kimia dari asam lemak tak jenuh tunggal diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur kimia asam lemak tak jenuh tunggal

c. Asam lemak tak jeuh ganda, asam lemak lenoleik (*Lenoleic Acid*) terdiri dari 18 atom karbon dengan dua ikatan ganda (majemuk) dan tergolong dalam asam lemak rantai panjang. Struktur kimia dari asam lemak tak jenuh majemuk diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur kimia asam lemak tak jenuh majemuk

Perlu diketahui bahwa, semakin banyak ikatan rangkap yang ditandai oleh semakin sulitnya proses pembekuan minyak dalam lemari pedingin atau suhu dibawah 27^{o}C. Disamping

itu asam lemak juga bisa dibedakan berdasarkan panjang rantai atom karbon, dengan demikian bisa dibagi lagi menjadi tiga kelompok:

1) Golongan minyak dengan asam lemak rantai karbon pendek (*Short Chain Fatty Acids*= SCFA), terdiri dari 2-6 atom karbon saja, seperti asam cuka dan mentega.
2) Golongan dengan minnyak asam lemak rantai karbon sedang (*Medium Chain Fatty Acids*= MCFA), terdiri dari 8-16 atom karbon, seperti minyak kelapa, minyak sawit dan minyak palm (lihat Gambar 2.2)
3) Golongan minyak dengan asam lemak rantai karbon panjang (*Long Chain Fatty Acids*= LCFA), yang terdiri dari 18 atau lebih atom karbon.

Minyak goreng hasil olahan pengusaha industri kecil (seperti minyak kelapa yang saya gunakan adalah produksi rumahan) memerlukan penanganan yang lebih besar mengingat proses pengolahannya yang bersifat tradisional. Proses pengolahan semacam ini banyak berhubungan dengan air, sedangkan air pada minyak goreng dapat menyebabkan *ranciditas* (ketengikan). Hal ini disebabkan adanya proses hidrolisis dan angka keasaman merupakan salah satu indikatr penting penentuan mutu minyak goreng. Dapat dilihat Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 yaitu komposisi yang terdapat di minyak kelapa dan penyusun asam lemaknya.

Tabel 2. 2 Komposisi *Glyceride*

Nama Senyawa	Komposisi (%)
Trisaturatedglycerides	84
Disaturated-monounsaturated	12
Monosaturated-diunsaturated	4

Sumber: Abeysundara (2001: 6)

Dari Tabel 2.3 dapat dilihat total asam lemak jenuh dari minyak kelapa adalah 91 % yang terdiri dari *caproic, caprylic, capric, lauric, myristic, palmitic, stearic, dan arachidic*. Sedangkan asam lemak tak jenuh hanya 9 % yang terdiri dari *oleic, linoleic*, dan *linolenic*. Asam lemak jenuh sebagian besar merupakan asam laurat sehingga minyak kelapa juga sering disebut minyak laurat. Asam laurat ini merupakan salah satu senyawa rantai karbon pendek.

Tabel 2. 3 Komposisi Asam Lemak pada Minyak Kelapa dan Minyak Alternatif Lain

Nama Asam Lemak R_1, R_2, R_3		*Coconut Oil*	*Rapeseed Oil*	*Soya Oil*	*Sunfolwer Oil*	*Palm oil*
Ilmiah	**Nama Umum**					
Asam Lemak Jenuh						
Caproic	C6:0	ND - 0,7	ND	ND	ND	ND
Caprylic	C8:0	4,6 - 10,0	ND	ND	ND	ND
Capric	C10:0	5,0 - 8,0	ND	ND	ND	ND
Lauric	C12:0	45,1 - 53,2	ND	ND - 0,1	ND	0,95
Myristic	C14:0	16, 8 - 21, 0	ND - 0,2	ND - 0,2	ND -1,0	1,75
Palmitic	C16:0	7,5 - 10,2	1,5 - 6,0	8,0 - 13,5	2, 0 -6,0	38
Palmitoleic	C16:1	ND	ND - 3,0	ND - 0,2	ND -0,05	6,95
Margaric	C1:0	ND	ND - 0,1	ND - 0,1	ND -0,05	ND
Heptadecenoi	C17:1	ND	0,5 - 3,1	ND - 0,1	ND -0,06	ND
Stearic	C18:0	2,0 - 4,0	8,0 - 60,0	2,0 - 5,4	2,9 - 6,2	6,95
Arachidic	C20:0	ND - 0,2	ND - 3,0	0,1 - 0,6	0,2 - 0,4	ND
Asam Lemak Tak Jenuh						
Oleic	C18:1	5,0 - 10,0	5,0 - 10,0	11,0 - 23,0	17 - 30	35,5
Linoleic	C18:2	1,0 - 2,5	11,0 - 23,0	48,0 - 59,0	2 - 17	14,3
Linolenic	C18:3	ND - 0,2	5,0 - 13,0	4,5 - 11,0	ND	ND

ND: *Non Detectable* ($\leq$ 0,05%)
Sumber: Matharage (2013: 888)

Tidak seperti di sebagian besar ester alami lainnnya, jelas bahwa minyak kelapa mengandung persentase yang tinggi dari lemak jenuh (C12:0, C14:0). Hal ini membuat minyak kelapa lebih stabil ketika menghubungi dengan udara. Oleh karena itu ketengikan oksidatif kurang signifikan dalam minyak kelapa daripada minyak nabati lainnya, komposisi lemak rantai mediumnya tinggi, dan berat molekulnya rendah.

2.4.3 Sifat Fisika Minyak Kelapa

Tabel 2.4 menunjukkan beberapa sifat fisik penting dari minyak kelapa, minyak sayur yang tersedia secara komersial untuk trafo. Sebagian besar sifat fisik seperti kekuatan dielektrik, titik nyala, kadar air dan lain-lain dalam batas-batas yang direkomendasikan untuk minyak mineral yang ditetapkan oleh IEC 60296. Meskipun viskositas minyak kelapa lebih tinggi dari nilai yang direkomendasikan, itu adalah kurang dari beberapa minyak nabati saat ini digunakan sebagai minyak alternatif. Titik tuang minyak kelapa memiliki keanekaragaman tertinggi dari tingkat direkomendasikan.

Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Fisika Minyak Kelapa Sawit, minyak Sayur dan Minyak Standar IEC 296

Sifat	Minyak Kelapa	Minyak Sayur	Minyak Standar
Kekuatan dielektrik (kV)	60	74	50
Viskositas (cSt pada 40^{o}C)	29	33- 45	13
Titik Tuang (^{o}C)	23	-15 s/d -25	-40
Titik Nyala (^{o}C)	170- 225	310-325	154
Massa Jenis (kg/dm^{3})pada 20 ^{o}C	0, 917	0, 91- 0, 95	0, 895
Kandungan uap air (mg/kg)	1	5-10	1.5

Sumber: Abeysundara (2001: 6)

2.5 Minyak Zaitun

Minyak zaitun atau *olive oil* adalah minyak dari buah zaitun (*Oleaeuropaea*), pohon tradisional dari basin Mediterania. Pada minyak zaitun kandungan yang paling dominan adalah asam oleat, asam lemak tak jenuh tunggal sebesar 71% (lihat Tabel 2.5). Minyak zaitun secara inheren berbeda dalam kimianya, fisik dan sifat listrik dari minyak mineral. Kehadiran dari senyawa fenolik dalam minyak zaitun dalam jumlah yang cukup memiliki peran penting dalam stabilitas minyak terhadap oksidasi, sedangkan tingkat pelarut terhalogenasi menentukan konsentrasi air dalam minyak tersebut. Namun, jumlah bahan ini bervariasi dari minyak minyak dan tergantung pada kondisi pelestarian. Tokoferol, menyajikan dalam minyak zaitun dalam konsentrasi sekitar 150-250 mg/kg, melaksanakan tindakan anti-oksidan dalam minyak terkena terhadap cahaya (radiasi ultraviolet terutama).

Minyak zaitun mengandung sekitar 1200-1800 mg/kg sterol senyawa, yang biasanya ada di minyak dan lemak alami di konsentrasi yang berbeda dan komposisi, tergantung pada asal bahan berlemak. Oleh karena itu, penambahan minyak asing (terutama minyak sayur murah) untuk minyak zaitun mengubah alamnya komposisi *sterolic*, yang memfasilitasi mendeteksi upaya dari pemalsuan. Minyak zaitun kaya akan lemak tak jenuh tunggal dan itu adalah sumber yang baik dari polifenol. Tabel 2.5 merangkum asam lemak yang ada dalam minyak zaitun.

Tabel 2. 5 Komposisi Asam pada Minyak Zaitun

Type of acid	Saturation	Content, %
Oleic	Monounsaturated	71
Palmitic	Saturated	15.8
Linoleic	Polyunsaturated	13.2

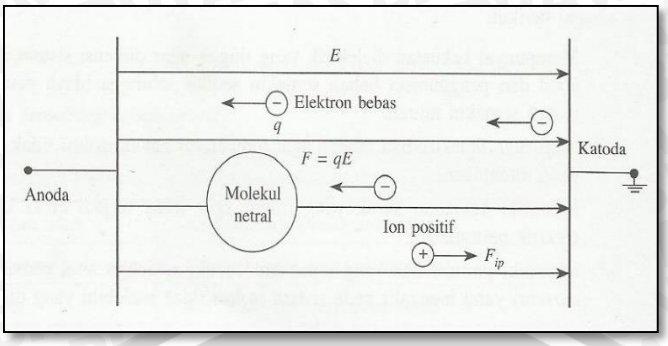
Sumber: Abderrazzaq (2012: 1674)

Menurut penelitian yang ada tegangan tembus pada minyak zaitun adalah 60 kV/2,5 mm. Ini tertinggi dibandingkan tegangan tembus minyak jagung, konola, dan kedelai. Diharapkan dengan penambahan minyak zaitun sebagai zat aditif pada minyak kelapa dapat membuat tegangan tembus minyak kelapa lebih tinggi, karena kandungan asam lemak tak jenuh nya dapat mengurangi kadar asam lemak jenuh yang tinggi pada minyak kelapa. Minyak zaitun yang digunakan pada pengujian diperlihatkan pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6 Minyak zaitun
Sumber: Dokumentasi

2.6 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 2.7 Suatu bahan isolasi diantara dua elektroda
Sumber: Tobing (2012: 26)

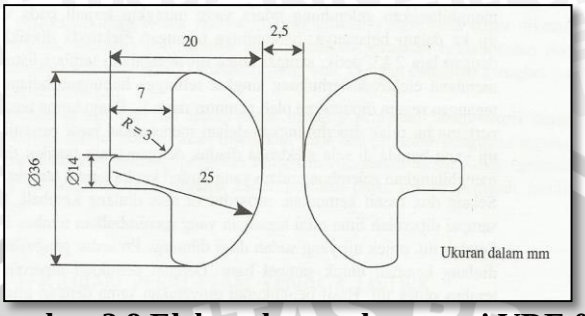
Pada Gambar 2.7 tersebut suatu bahan isolasi ditempatkan di antara dua elektroda piring sejajar, bila elektroda diberi tegangan searah V, maka akan timbul medan elektrik (E) di dalam bahan isolasi yang arahnya dari anoda ke katoda. Medan elektrik ini akan menimbulkan gaya (F) pada elektron bebas yang terdapat pada bahan isolasi. Gaya ini akan membuat ektron bebas bergerak ke anoda. Dalam perjalanan menuju anoda, elektron bebas membentur molekul netral yang menimbulkan ionisasi benturan dan menghasilkan elektron bebas baru dan ion positif. Bila benturan tersebut tidak menimbulkan ionisasi maka benturan akan mengeksitasi elektron yang terikat pada molekul netral. Ukuran beban elektrik didalam bahan isolasi dinyatakan dengan kuat medan elektrik dengan satuan dalam volt/cm.

Jika kuat medan elektrik melebihi kemampuan batasnya dan berlangsung secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama, maka kuat medan elektrik akan mengalami tembus listrik (*electrical breakdown*). Medan elektrik tidak selalu mengakibatkan bahan isolasi mengalami tembus listrik, tetapi ada dua syarat yang harus dipenuhi agar bahan isolasi mengalami tembus listrik yaitu: (Tobing, 2012: 23)

1. Kuat medan elektrik yang diberikan ke bahan isolasi sama dengan atau lebih besar dari pada kekuatan dielektrik bahan isolasi.
2. Lama berlangsungnya medan elektrik sama dengan atau lebih besar dari pada waktu tunda tembus.

Pengujian kekuatan dielektrik dihubungkan dengan kotak uji yang digunakan. Untuk pengujian cairan sederhana, kotak uji yang digunakan sederhana karena sedikit minyak yang digunakan didalam pengujian.

Elektroda-elektroda yang digunakan untuk mengukur tegangan tegangan tembus umumnya adalah elektroda setengah bola-setengah bola standar VDE 0370 dengan jarak sela 2,5 mm dengan diameter 3,6 cm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Elektroda standar sesuai VDE 0370
Sumber: SPLN (1982)

Kadang-kadang sistem pengukuran mengunakan elektroda plat sejajar juga digunakan pada sistem ini. Elektroda terpisah pada jarak yang sangat kecil dalam pengukuran menggunakan elektroda yang sangat halus dan kehadiran film oksidasi memberikan tanda besarnya tegangan tembus (kekuatan dielektrik) yang diberikan. Karena jarak celah kecil, maka tegangan uji yang diperlukan 50-100 kV, tegangan tembus (kekuatan dielektrik) pada dielektrik cair dalam orde 1 MV/cm. Di dalam pertumbuhan tegangan tembus akan menjadi lebih besar jika gas yang dilarutkan bersifat elektronegatif dan tekanan hidrostatik diperbesar. (Moch.Dhofir, 2000: 34)

2.7 Kegagalan pada Bahan Isolasi Cair.

Secara garis besar dapat dikatakan bahwa bahan dielektrik atau isolasi cair dengan tingkat kemurnian yang tinggi, kegagalannya dipengaruhi oleh fenomena yang sama seperti pada bahan kuat medan listrik tinggi (orde 1 MV/cm). Selain itu, karakteristik isolasi cair akan berubah bila bahan tersebut tercemar atau terkontaminasi oleh suatu bahan pengotor (*impurity*), seperti gelembung udara/ gas/ uap, partikel atau zat cair lainnya. Disamping itu, kegagalan isolasi (*insulation breakdown*) juga disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

a. Lamanya pemakainnya
b. Penurunan kekuatan dielektriknya
c. Tegangan lebih yang dialaminya

Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tekanan (*stress*) yang harus diantisipasi oleh gaya internal yang ada di isolator itu sendiri agar ia tidak mengalami kegagalan. Ditinjau dari sudut pandang struktur molekul bahan isolasi, maka elektron-elektron akan terikat erat pada molekulnnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan atau bereaksi terhadap pengaruh dari luar seperti adanya tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan tersebut. Akan terjadi perpindahan elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya apabila pada suatu bahan isolasi cair diterapkan tegangan, peristiwa ini menyebabkan timbulnya arus konduksi atau arus bocor.

Selanjutnya karena adanya kecenderungan bahan isolasi cair mudah terkontaminasi, maka biasanya bahan isolasi cair ini tidak digunakan sedirian untuk kuat medan diatas 100 kV/cm pada peralatan yang dioperasikan secara kontinyu. Untuk pemakaian kuat medan yang lebih tinggi (diatas 1 MV/cm), maka bahan isolasi cair dikombinasi degan bahan padat yang difungsikan antara lain sebagai penghalang (pembatas), atau sebagai pencegahan terjadinya barisan ketidakmurnian atau zat pengotor dan melokalisasi gelembung atau butiran agar tak membentuk suatu jembatan penghubung antara elektroda-elektroda, dan untuk mengisi ruang atau tempat kosong yang terbentuk.

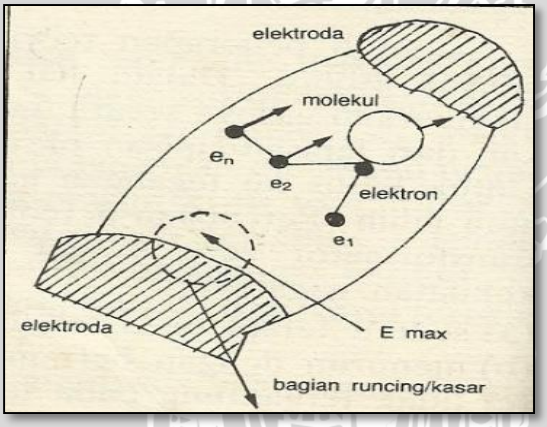
2.8 Dasar Teori Kegagalan Zat Cair

Jika beda potensial diterapkan pada sepasang elektroda yang dicelup suatu bahan isolasi cair, maka yang pertama kali teramati adalah adanya arus konduksi yang kecil. Jika tegangan secara kontinu terus dinaikan, maka sampai pada suatu tegangan kritis tertentu, akan terjadi lucutan atau percikan lewat diantara kedua elektroda. Lucutan atau percikan yang terjadi dalam cairan meliputi:

a. Adanya aliran listrik relatif besar, ditentukan oleh karakteristik rangkaian.
b. Terjadi suatu berkas cahaya terang bagaikan kilat dari elektroda ke elektroda.
c. Pembentukan (evolusi) gelembung gas dan pembentukan butir-butir zat padat hasil dari suatu dekomposisi zat cair (tergantung sifat kimiawi zat cair).
d. Terbentuk lekuk/ lubang kecil pada kedua elektroda.
e. Terjadi tekanan impuls melalui cairan dengan disertai suara ledakan.

Teori mekanisme kegagalan zat cair dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut: (Arismunandar, 1983: 72)

a. Teori kegagalan zat murni atau elektronik yang merupakan teori dari kegagalan gas. Artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan teori kegagalan dalam gas.
b. Teori kegagalan gelembung udara atau kavitasi dimana tak murnian (contohnya pada gelembung udara) mempunyai tegangan tembus yang lebih rendah dari zat cair. Adanya gelembung udara di dalam cairan berakibat awal kegagalan total pada cat cair.
c. Teori kegagalan zat cair, ketidak murniaan di dalam medan listrik (contohnya pada bola-bola cair) merupakan jembatan bertahanan rendah di antara elektroda dan mengakibatkan kegagalan.
d. Teori kegagalan tak murnian padat, tak murnian (contohnya pada butiran penghantar padat yang ditunjukkan pada Gambar 2.9) dapat menyebabkan pembesaran medan listrik setempat, jika medan dalam zat cair melebihi nilai kritis tertentu di tempat zat cair akan gagal dan berakibat kegagalan total.



Gambar 2.9 Teori kegagalan pemurnian padat
Sumber: Arismunandar (1983: 72)

2.8.1 Kegagalan Elektronik

Zat cair berkelakuan seperti gas, maka agar terjadi kegagalan zat cair dibutuhkan elektron yang dimasukkan ke dalam zat cair. Bila kuat medan cukup besar, tetapi tidak ada elektron awal maka kegagalan zat cair tidak akan terjadi. Diantara elektroda akan ada medan yang kuat dan medan yang tidak merata yang berbentuk meruncing, maka medan yang terbesar berada di bagian yang meruncing tersebut. Dalam teori ini dinyatakan bahwa elektron-elektron tertentu akan memperoleh energi dari medan yang lebih besar dari pada energi yang hilang karena benturan dengan molekul-molekul.

Elektron yang dihasilkan akan menyebabkan terjadinya arus konduksi dalam zat cair pada kuat medan tinggi. Menurut Schottky arus yang timbul memiliki kerapatan yaitu: (Arismunandar, 1983: 73)

$$J = J_t \, e^{\frac{4.4\sqrt{E}}{T}} \ (A/cm^2) \qquad (2 - 8)$$

Dengan: $J_t = AT^2 \, e^{-\emptyset/kT}$ (2 - 9)

$$E = M E_a \qquad (2 - 11)$$

Keterangan:

J : Kerapatan arus konduksi

J_t : Kerapatan arus harmonik

E_a : Kuat medan yang diterapkan

M : Faktor ketidak rataan permukaan

Persamaan (2-9) menunjukkan bahwa arus bergantung pada suhu, tetapi pada kegagalan zat cair ini suhu hanya sedikit mempengaruhi. Ini menunjukkan bahwa katodanya adalah proses emisi medan dan bukan proses emisi termionik.

Untuk terjadinya kondisi banjiran elektron diperoleh dengan menyamakan perolehan energi oleh elektron yang menempuh lintasan bebas rata-rata: (Arismunandar, 1983: 74)

$$W_1 = F. \lambda \qquad (2 - 12)$$

$$W_1 = e. E . \lambda \qquad (2 - 13)$$

Dimana:

F: Gaya Coulomb

λ: Lintasan bebas rata-rata

e: Muatan elektron

Energi yang diutuhkan untuk mengionisasikan molekul

$$W_2 = c. h . f \qquad (2 - 14)$$

Keterangan:

E : Medan yang diterapkan

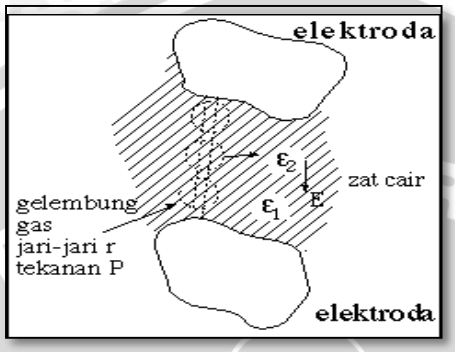
f : Frekuensi

hf : Catu energi yang diperlukan untuk mengionisasikan molekul

c : Konstanta

2.8.2 Kegagalan Gelembung atau Kavitasi Zat Cair

Kegagalan gelembung atau kavitasi atau gas merupakan bentuk kegagalan zat cair yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalamnya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Teori kegagalan gelembung pada zat cair
Sumber: Arismunandar (1983: 75)

Menurut Kao dan Krasucki, sebab-sebab timbulnya gelembung gas sebagai berikut: (Arismunandar, 1983:74)

1. Permukaan elektroda tidak rata, sehingga terdapat kantong-kantong udara dipermukannya.
2. Tabrakan elektron, terjadinya produk-produk baru berupa gas.
3. Pengupan cairan karena adanya lucutan pada bagian-bagian elektroda yang tajam dan teratur.
4. Zat cair dikenai perubahan suhu dan tekanan.

Medan listrik dalam gelembung gas yang ada dalam isolasi cair dinyatakan: (Arismunandar, 1983: 74)

$$E_b = \frac{3\varepsilon 1\ Eo}{2\varepsilon 1+1} \qquad (2\text{ -}15)$$

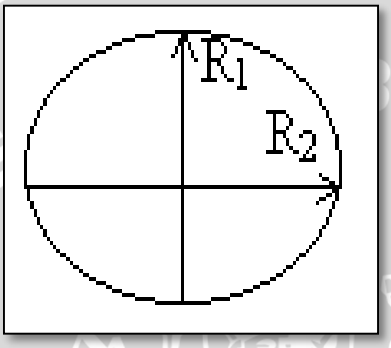
Keterangan:

ε_1 : Permitivitas zat cair

E_o : Medan listrik dalam zat cair tanpa gelembung

2.8.3 Kegagalan Bola Cair dalam Zat Cair

Kegagalan bola cair disebabkan oleh suatu media isolasi yang mengandung sebuah bola cair atau cairan lain. Adanya bola cair tersebut menyebabkan ketidakstabilan pada media isolasi tersebut. Jika bola cair diberikan medan E, maka bola cair tersebut akan berubah menjadi sferoida (lihat Gambar 2.11) dan terdapat suatu medan sebesar E_2. Maka hubungan antara kedua medan dinyatakan oleh: (Arismunandar, 1983: 77)



Gambar 2.11 Teori kegagalan bola cair dalam zat cair
Sumber: Arismunandar (1983: 77)

$$E_2 = \frac{\varepsilon 1 \; E}{\varepsilon 1 - (\varepsilon 1 - \varepsilon 2) G} \qquad (2 - 16)$$

Dimana:

$$G = \frac{1}{\gamma^2 - 1} \left\{ \frac{\gamma \cos^{-1} \gamma}{(\gamma^2 - 1)^{1/2}} - 1 \right\} \qquad (2 - 17)$$

$$\gamma = R_2 / R_1 \qquad (2 - 18)$$

Keterangan:

R_2 : Jari - jari panjang sfreroida

R_1 : Jari - jari pendek sferoida

ε_1 : Permitivitas zat isolasi cair

ε_2 : Permitivitas bola cair

2.8.4 Kegagalan Butiran Padat dalam Zat isolasi Cair

Kegagalan butiran padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran (*particle*) zat padat di dalam isolasi cair yang akan memulai terjadinya kegagalan. Butiran padat

memiliki permitivitas yang berbeda dengan permitivitas zat isolasi cair. Butiran padat memiliki permitivitas ε_2 dan permitivitas zat isolasi cair yaitu ε_1 (dilihat pada Gambar 2.12). Menurut besarnya gaya yang bekerja pada butiran dalam medan tak seragam adalah: (Arismunandar, 1983: 80)

$$F = r^3 \frac{\varepsilon 2 - \varepsilon 1}{\varepsilon 2 - \varepsilon 1} U \, grad \, U \qquad (2 - 19)$$

Secara khusus dapat dituliskan: $F = \frac{1}{2} r^3 \frac{\varepsilon 2 - \varepsilon 1}{\varepsilon 2 - \varepsilon 1} \, grad \, U^2 \qquad (2 - 20)$

Keterangan:

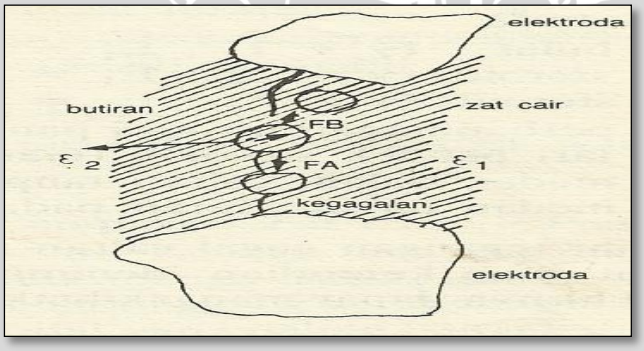
r : Jari-jari butiran

U : Gradien tegangan

$\varepsilon_{1,2}$: Permitivitas butiran padat, zat isolasi cair

Untuk persamaan diatas terdapat dua kemungkinan yaitu: (Arismunandar,1983: 81)

1. Jika $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ maka arah gaya yang bekerja pada butiran padat isolasi cair akan searah dengan tekanan listrik maksimum (F_A) gaya akan mendorong butiran ke arah bagian yang terkuat dari medan.
2. Jika $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ seperti dalam gelembung gas maka arah gaya berlawanan dengan tekanan listrik maksimum (F_B).



Gambar 2.12 Kegagalan butiran padat dalam zat isolasi cair
Sumber: Arismunandar (1983: 81)

Butiran penghantar diantara elektroda mengakibatkan perbesaran medan dalam zat isolasi cair di dekat permukaan butiran. Pembesaran medan ditentukan dalam bentuk butiran yaitu: (Arismunandar, 1983: 82)

a. Untuk butiran bulat ($\gamma = 1$) : $E_1 = 3E$
b. Untuk butiran sferoida ($\gamma = 2$) : $E_1 = 5{,}8\ E$

c. Untuk butiran sferoida ($\gamma = 5$) : $E_1 = 18\ E$

Keterangan:

γ : Perbandingan jari-jari panjang terhadap jari-jari pendek sferoida.

E : Medan dalam cairan tanpa butiran.

E_1 : Medan dalam cairan pada ujung butiran.

2.9 Pemurnian Bahan Isolasi Cair

Proses pemurnian bahan isolasi cair: (Muhaimin, 1999: 20 - 24)

1. Pemanasan

   Pada cara ini minyak trafo dipanasi hingga titik didih air pada perangkat khusus yang disebut *Oil Boiler*. Air yang terkandung di dalam minyak akan menguap. Cara ini dianggap sebagai cara sederhana dalam hal pemurnian minyak trafo.

2. Pembersihan debu

   Partikel-partikel kecil debu dapat menjadi pembawa muatan dan penyebab tekanan lokal yang dapat bertindak sebagai awal terjadinya kegagalan. Juga partikel-partikel tersebut dapat bergabung membentuk suatu jembatan konduktif antara elektroda. Untuk itu, bahan isolasi cair dibersihkan dari partikel debu yang ukurannya lebih besar dari 1 μm melalui suatu proses penyaringan yang cermat. Kekuatan gagal bahan isolasi cair tersebut akan meningkat.

3. Pembersihan gas terlarut

   Pada umumnnya, bahan isolasi cair mengadung larutan gas yang cukup signifikan jumlahnya. Beberapa gas yang biasanya terlarut, seperti Nitrogen atau Hidrogen yang tidak mengganggu atau merusak sifat-sifat elektris pada skala besar, tetapi oksigen dan karbon dioksida dapat menyebabkan perubahan kekuatan gagal yang cukup signifikan. Sehingga biasanya keberadaan jumlah gas yang terkandung dalam bahan isolasi cair perlu dibatasi bahkan kalau mungkin ditiadakan. Dan untuk ini perlu dilakukan penyulingan dan pembuangan gas.

4. Pembersihan pengotor ionik

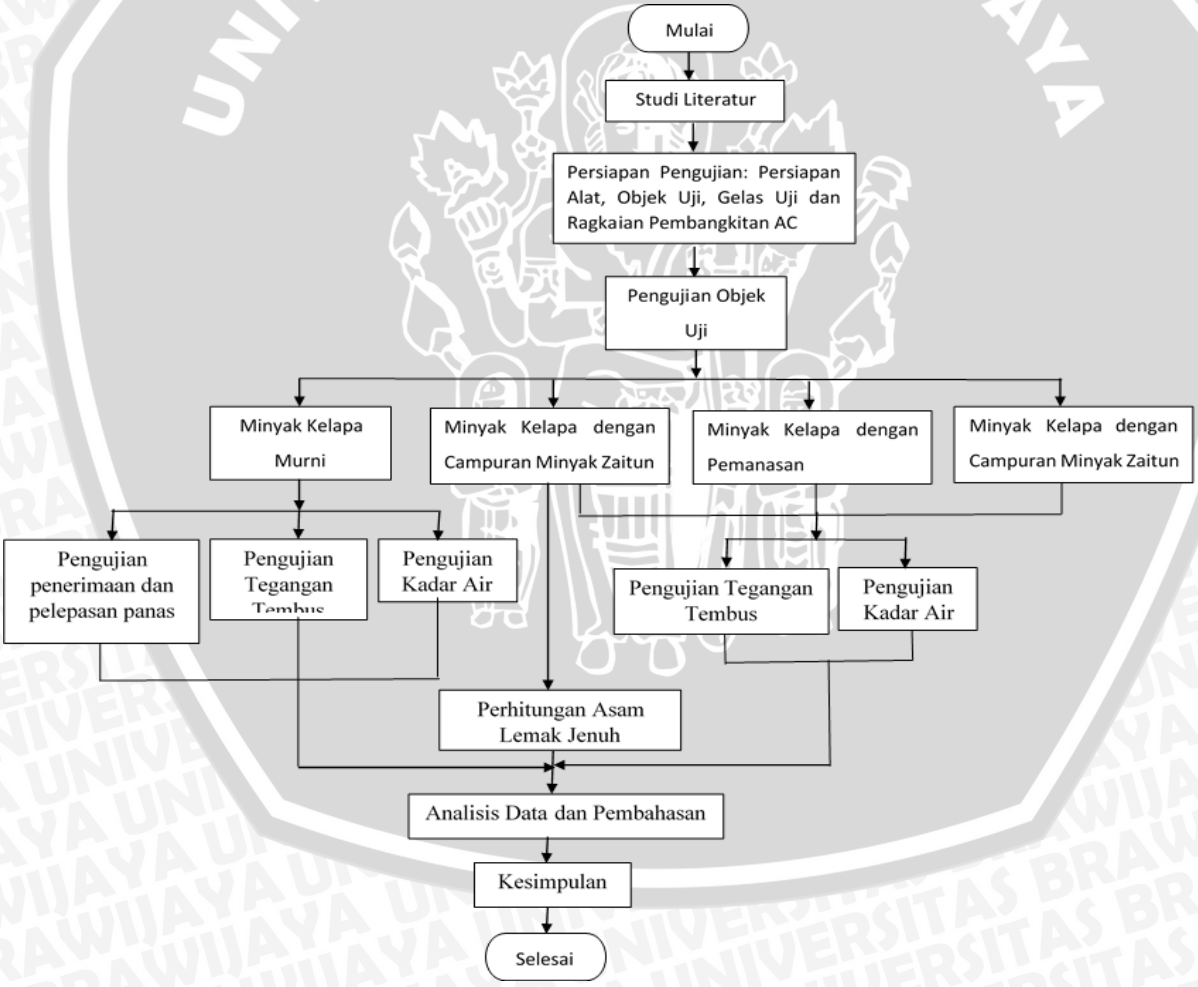
   Pengotor ion dalam bahan isolasi cair (khususnya air residu yang mudah memisah) berperan sekali dalam ketidaknormalan konduktivitas dan pemanasan bahan isolasi tersebut. Air dapat dibersihkan dengan bahan pengering. Pengeringan hampa atau pembekuan melalui penyulingan suhu rendah.

5. Pemusingan

Pengotor seperti fiber, karbon maupun lumpur yang pada umumnya lebih berat dari minyak murni, yang pada suatu saat akan mengendap sehingga mudah untuk dipisahkan secara kasar. Untuk mempercepat dan mendapatkan hasil yang lebih baik, proses pemisahan dapat dilakukan denngan cara memanaskan minyak antara $45^{O}C$ hingga $55^{O}C$ di dalam suatu tabung dan kemudian diputar dengan cepat. Akibatnya benda pengotor tersebut akan berkumpul pada bagian pinggir tabung oleh pengaruh gaya sentrifugal, dan bagian minyak yang bersih mengambil tempat pada tengah tabung.

BAB III
METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode dan langkah kerja untuk mengatahui karakteristik pengaruh pemanasan dan presentase campuran minyak zaitun terhadap kinerja dielektrik termasuk kekuatan dielektrik (tegangan tembus), kadar air dan asam lemak jenuh pada minyak kelapa yang sudah diolah atau modifikasi. Adapun metode penelitian yang digunakan terdiri dari studi literatur, persiapan alat, pembuatan sampel objek uji, pengujian objek uji, pengambilan data dan analisis data, serta pengambilan kesimpulan. langkah-langkah percobaan penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis 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 pengujian perlu untuk dipersiapkan alat-alat dan bahan yang akan digunakan di dalam pengujian dan di dalam pengujian dapat diperoleh data sesuai dengan standar SPLN 49 tahun 1982 bahwa tegangan tembus pada minyak isolasi baru yaitu 30 kV/2,5 mm. Sehingga di dapat kesimpulan dan saran sesuai dengan kaidah isolasi minyak baru.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur yang ada kaitanya dengan uji kekuatan isolasi dan ketahanan dari minyak isolasi pada peralatan tinggi yang menggunakan minyak kelapa.

Studi literatur ini meliputi jurnal, buku-buku dan sumber lain yang menunjang yang berasal dari internet. Studi literatur ini dimaksudkan untuk landasan teori didalam mengerjakan penelitian tentang uji ketahan isolasi pada peralatan tegangan tinggi menggunakan minyak nabati atau minyak alternatif dari minyak kelapa.

3.2 Persiapan Alat dan Fungsinya

Adapun peralatan yang digunakan didalam penelitian ini agar mendapatkan hasil untuk menjawab rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

a. Minyak Kelapa : Objek uji
b. Minyak Zaitun : Zat aditif
c. Trafo uji : 220 V/ 100 kV, 5 kVA, 50 Hz
d. C_M : Pembagi kapasitif 100 pF
e. Re : Resistor pengukuran 10 MΩ
f. *Chamber* : Gelas uji standar VDE 370
g. DSM : Alat ukur tegangan tinggi AC
h. Amperemeter : Alat ukur arus listrik
i. Gelas Ukur : Mengetahui volume minyak kelapa dan minyak zaitun
j. Oven listrik : Memanaskan objek uji
k. Beker 500 ml : wadah pemanas
l. Petri *Dish* : Wadah minyak saat dipanaskan

m. Termometer : Untuk mengetahui suhu
n. Tisu : Sebagai lap
o. Kain saring : Penyaring minyak
p. *Hair Drier* : Pengering
q. Pengaduk : Pengaduk minyak
r. *Silica Gel* : Menjaga kelembapan

Berikut masing-masing fungsi peralatan yang digunakan di dalam pengujian:

a. Minyak Kelapa, sebagai objek uji yang akan diteliti.
b. Minyak zaitun, sebagai zait aditif yang dicampur pada objek uji.
c. *HV Transformer* (Trafo uji), trafo ini dapat menaikkan tegangan sampai 100 kV, dengan daya yang dikeluarkan sebesar 5 kVA, dan frekuensi yang digunakan sesuai standar PLN, yaitu 50 Hz.
d. C_M merupakan kapasitor pengukuran yang berfungsi sebagai perata tegangan dan pelindung meja kontrol (*control desk*).
e. Re merupakan pengaman agar arus yang mengalir tidak terlalu besar.
f. *Chamber*, ruang uji digunakan sebagai wadah tempat pengujian minyak isolasi
g. DSM merupakan alat ukur yang berada di meja control (*control desk*), dan fungsi dari DSM adalah sebagai pengukur tegangan tinggi *AC*.
h. Gelas ukur, digunakan sebagai wadah untuk mengetahui volume minyak kelapa dan minyak zaitun yang di dalam penelitian.
i. Oven listrik, digunakan untuk memanaskan minyak minyak kelapa dan campuran minyak zaitun yang mempunyai regulator suhu dan *timer*.
j. Termometer, sebagai penunjuk parameter untuk suhu pemanasan yang dipanaskan oleh oven listrik.
k. Beker 500 ml, digunakan sebagai wadah minyak 250 ml saat dipanaskan di oven
l. Petri *Dish*, digunakan sebagai wadah minyak sampel 25 ml saat dipanaskan.
m. Tisu, digunakan sebagai pengering sebelum di keringkan dengan *hair drier*.
n. Kain saring, digunakan untuk mennyaring minyak kelapa dari kotoran sebelum dipanaskan.
o. *Hair drier*, digunakan untuk mengeringkan peralatan pengujian, seperti chambers, kotak uji, dan beker.

p. Pengaduk, digunakan sebagai mengaduk dan mencampurkan minyak

q. *Silica gel*, digunakan untuk menjaga kelembapan

3.3 Pengujian Objek Uji

Dalam penelitian skripsi ini menggunakan minyak kelapa sebagai objek uji yang telah dimurnikan dengan pemanasan dan penambahan minyak zaitun sebagai campuran. Cara penuangan minyak (objek uji) ke dalam wadah harus dilakukan secara perlahan-lahan untuk menghindari timbulnya gelembung-gelembung gas pada minyak dan disaring dua kali menggunakan kain saring sebelum dipanaskan atau dituangkan ke wadah/ gelas uji. Pemanasan dilakukan menggunakan oven listrik dengan variasi suhu dan waktu yang telah ditentukan. Penambahan pelarut juga bervariasi. Wadah untuk menampung dan memanaskan minyak haruslah benar-benar kering dan setiap pergantian objek uji, kotak uji harus dicuci menggunakan air sabun yang kemudian dibilas dan dikeringkan menggunakan pengering (*hair drier*). Sebelum dilakukan pengujian objek uji, peneliti melakukan persiapan pengujian sebagai berikut:

3.3.1 Persiapan Objek Uji

Objek uji dapat dianggap sebagai isolasi yang berada di antara dua elektroda yang menghasilkan distribusi medan elektrik dan distribusi tegangan yang hampir sama dengan distribusi medan elektrik dan distribusi tegangan pada objek uji yang sesungguhnya (Tobing, 2012: 8). Berikut objek uji yang digunakan pada penelitian:

a. Tanpa Pemanasan, Tanpa Campuran Minyak Zaitun

   Objek uji ini dapat dibilang minyak kelapa murni. Setelah objek uji di letakkan pada *chamber* (gelas uji) dapat langsung diuji kekuatan dielektrik atau tegangan tembus.

b. Tanpa Pemanasan dengan Campuran Minyak Zaitun

   Objek ini dibuat untuk melihat pegaruh prosentase penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus. Campuran miyak zaitun dimulai dari 5%-25% dengan kenaikan 5% dari jumlah volume minyak kelapa yaitu 250 ml untuk pengujian tegangan tembus pada gelas uji standar. Untuk komposisi masing-masing minyak dapat dilihat Tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Penambahan Campuran Minyak Zaitun pada Susunan Elektroda Standar

No	Minyak Kelapa (ml)	Minyak Zaitun (ml)
1	237,5	12,5
2	225,0	25,0
3	212,5	37,5
4	200,0	50,0
5	187,5	62,5

c. Dengan Pemanasan Tanpa Campuran Minyak Zaitun

Objek ini dibuat untuk melihat pengaruh kenaikan suhu pemanasan dan lama pemanasan minyak kelapa pada tegangan tembus. Diambil batas bawah 50°C karena suhu 40°C adalah suhu normal untuk minyak digunakan. Sedangkan diambil batas atas 90°C, karena suhu 100°C menyebabkan kondisi fisik minyak rusak (batas atas ini berlaku untuk minyak trafo, sedangkan untuk minyak kelapa mengikuti batas atas minyak trafo). Minyak dipanaskan terlebih dahulu secara bertahap sebelum diuji kekuatan dielektriknya. Bertahap disini maksudnya, minyak dipanaskan selama 30 menit terlebih dahulu dan didinginkan, kemudian baru diuji kekuatan dielektriknya. Dengan objek uji yang sama, dipanaskan kembali pada suhu yang sama dengan lama pemanasan 60 menit dan didinginkan, kemudian baru diuji kekuatan dilektriknya. Hal ini juga dilakukan pada lama pemenasan 90 menit. Dan hal ini juga dilakukan menggunakan minynak (objek uji) baru dengan suhu yang lain. Komposisi minyak dalam volume dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Komposisi Pengaruh Kenaikan Suhu Pemanasan Minyak Kelapa pada Susunan Elektroda Standar

No	Suhu (º)	Minyak Kelapa (ml)
1	50	250
2	60	250
3	70	250
4	80	250
5	90	250

d. Dengan Pemanasan dan campuran minyak zaitun

Objek ini dibuat untuk melihat pegaruh kenaikan suhu pemanasan serta penambahan campuran minyak zaitun (MZ) pada minyak kelapa (MK) terhadap kekuatan dielektriknya. Minyak kelapa terlebih dahulu dicampur minyak zaitun dengan presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% barulah kemudian dipanaskan pada suhu yang telah ditetapkan dan baru diuji kekuatan dilektriknya. Cara pemanasan nya sama seperti yang dilakukan objek uji dengan pemanasan (poin c). Komposisi minyak dalam volume dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Komposisi Pengaruh Kenaikan Suhu Pemanasan Minyak Kelapa dan Penambahan Minyak Zaitun pada Susunan Elektroda Standar

No	Suhu (º)	5%		10%		15%		20%		25%	
		MK (ml)	MZ (ml	MK (ml	MZ (ml)	MK (ml)	MZ (ml)	MK (ml)	MZ (ml)	MK (ml	MZ (ml)
1	50	237,5	12,5	225	25	212,5	37,5	200	50	187,5	62,5
2	60	237,5	12,5	225	25	212,5	37,5	200	50	187,5	62,5
3	70	237,5	12,5	225	25	212,5	37,5	200	50	187,5	62,5
4	80	237,5	12,5	225	25	212,5	37,5	200	50	187,5	62,5
5	90	237,5	12,5	225	25	212,5	37,5	200	50	187,5	62,5

3.3.2 Persiapan Gelas Uji *(Chamber)*

a. Gelas Uji untuk Pengujian Tegangan Tembus

Gelas uji yang digunakan sebagai wadah untuk menguji kekuatan dielektrik atau tegangan tembus minyak kelapa adalah wadah yang berbentuk gelas uji yang didalamnya berisi elektroda standar tipe VDE 370. Elektroda terbuat dari bahan nikel dan permukaannya sangat halus. Dikarenakan kotak uji yang ada di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi sudah sering dipakai, sehingga permukaan elektroda tampak sudah tidak rata, jadi peneliti melakukan penghalusan menggunakan amplas untuk meratakan kembali permukaan elektroda pada kotak uji tersebut. Standar Jepang, JIS C 2101-1988, merekomendasikan elektroda berbentuk bola-bola dengan diameter 12,5 mm dan panjang sela 2,5 mm (Tobing, 2012: 131). Gelas uji yang digunakan pada pengujian diperlihatkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

Gambar 3.2 Kotak Uji untuk Pengujian Tegangan Tembus Tampak Depan pada Elektroda Standart

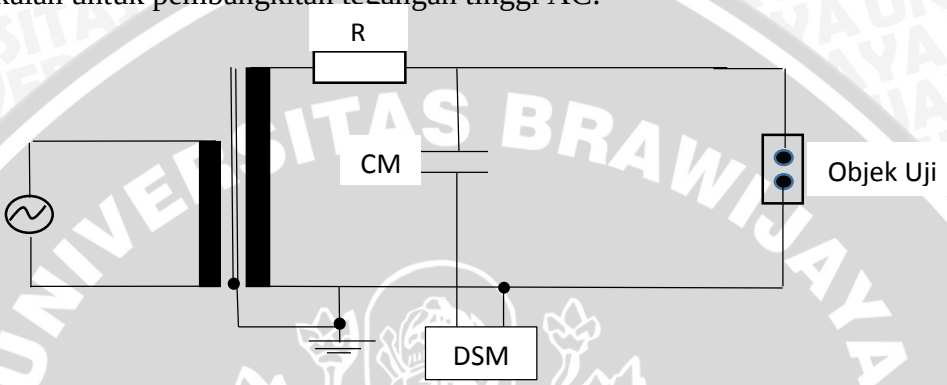
Sumber: Dokumentasi

Gambar 3.3 Kotak Uji untuk Pengujian Tegangan Tembus Tampak Atas pada Elektroda Standart

Sumber: Dokumentasi

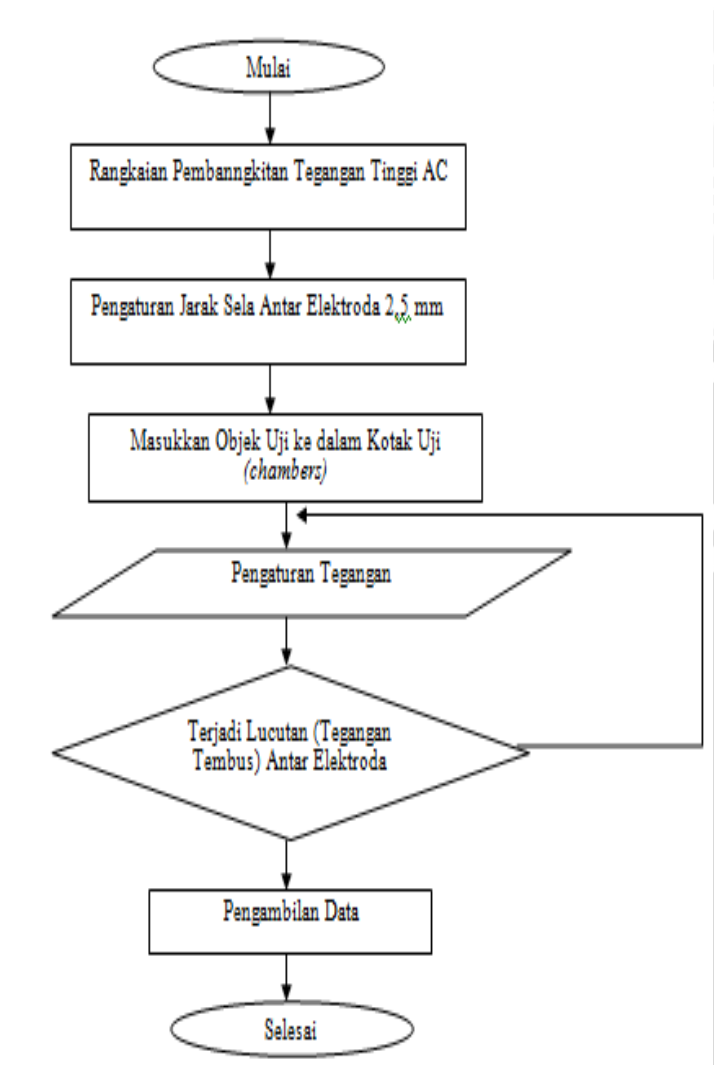
3.3.3 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus pada Pengujian Tegangan Tinggi Bolak-Balik (AC)

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



Gambar 3.4 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC

Pada Gambar 3.4 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 pararel 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 3.5



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus (AC)

3.3.4 Pengujian Tegangan Tembus

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

1. Objek uji tanpa pemanasan yang telah disaring 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 10 menit terlebih dahulu sebelum tegangan diterapkan agar meminimalkan gelembung udara (Kind, 1993: 191). Untuk volume masing-masing objek uji telah ditentukan (lihat tabel 3.1-3.3).
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.

3. Sedangkan pemanasan bertahap, diambil objek uji yang menggunakan pemanasan. Objek uji di panaskan menggunakan oven listrik pada suhu 50^{O}C (terukur di termometer) selama 30 menit, kemudian didiamkan pada suhu ruang sampai dingin dan diuji kekuatan dielektriknya. Kemudian dipanaskan kembali pada suhu yang sama selama 60 menit dan diuji kekuatan dielektriknya. Masih menggunakan objek uji yang sama, pemanasan dilakukan sampai pada 50^{O}C selama 90 menit dan diuji kembali kekuatan dielektriknya. Selama proses pemanasan suhu minyak dijaga konstan. Langkah pengujian yang sama dilakukan untuk objek uji yang baru menggunakan suhu 60^{O}C, 70^{O}C, 80^{O}C dan 90^{O}C.

3.3.5 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air ini dilakukan di Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya menggunakan metode oven. Pengujian ini dilakukan sebelum pengujian tegangan tembus untuk dilihat pengaruh pemanasan dan penambahan minyak zaitun.

3.3.5.1 Persiapan dan Fungsi Alat dan Bahan

a) Oven dengan termostat yang dapat disetel suhunya, suhu yang dipakai 100ºC – 105ºC
b) Cawan penguap, sebagai wadah sampel/ objek uji yang tahan terhadap suhu tinggi dan tidak mudah menguap.
c) Desikator, untuk menyimpan minyak yang telah dipanasin yang harus bebas air.
d) Penjepit cawan, untuk mengambil cawan yang telah dipanasin dari oven.
e) Neraca analitik, dengan ketelitian 4 (empat) angka desimal, digunakan untuk mengukur berat dari berbagai macam bahan yang membutuhkan angka sangat terperinci.

3.3.5.2 Langkah Kerja Pengujian Kadar Air

Langkah- langkah pengujian kadar air sebagai berikut:

1) Cawan dicuci bersih.
2) Masukkan kedalam oven pada suhu 100°C ± 1 jam.
3) Ambil masukkan kedalam desikator ± 1 menit.

4) Timbang cawan kemudian di ketahui beratnya dalam satuan gram.
5) Tambahkan minyak 1 - 5 gram ke dalam cawan diketahui berat total (berat sampel+ berat cawan yang sudah dikeringkan).
6) Oven kembali ± 1 malam pada suhu 105°C.
7) Ambil masukkan ke dalam desikator ±15 menit.
8) Timbang sampai penimbangan konstan antara penimbangan yang I dan ke II.

3.3.5.3 Perhitungan Kadar Air

Untuk mendapatkan presentase kadar air yang terkandung pada sampel dapat dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Berat cawan kosong (gr) : W_0

Berat sampel (gr) : W_1

Berat cawan + sampel kering : W_2

Berat sampel setelah kering (gr) : W_3

Kehilangan berat (gr) : W_4

$W_3 = W_2 - W_0$ (3 – 1)

$W_4 = W_1 - W_3$ (3 – 2)

Persen kadar air $= \frac{W_4}{W_1}$ X 100% (3 – 3)

Kadar air (ppm) $= \frac{Kadar\ air\ (\%)}{0{,}0001\%}$ (3 – 4

3.4 Perhitungan Asam Lemak Jenuh

Analisis asam lemak jenuh sederhana menggunakan rumus pencampuran dapat kita gunakan sebagai berikut:

Rumus pencampuran: $M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$ (3 - 5)

Keterangan:

M_Z = Kandungan asam lemak jenuh minyak zaitun (%)

M_K = Kandungan asam lemak jenuh minyak kelapa (%)

M_C = Kandungan asam lemak jenuh campuran (%)

V_Z = Volume minyak zaitun (ml)

V_K = Volume minyak kelapa (ml)

V_C = Volume campuran (ml)

3.5 Analisa Data

Data-data hasil pengujian sifat listrik dielektrik berupa tegangan tembus, sifat fisika berupa kadar air, kadungan kimia berupa asam lemak jenuh merupakan data sejauh mana kualitas objek uji, yaitu minyak kelapa.

Dari data hasil pengujian diperoleh grafik tegangan tembus sebagai fungsi suhu dan sebagai fungsi penambahan minyak zaitun. Dari analisa data ini, kseimpulan dari penelitian dapat diperoleh.

BAB IV
ANALISIS PENGARUH PENCAMPURAN MINYAK ZAITUN DAN KENAIKAN SUHU PEMANASAN TERHADAP TEGANGAN TEMBUS

Pada bab ini akan dibahas pengaruh pencampuran minyak zaitun ke dalam minyak kelapa dan pemanasan terhadap tegangan tembus minyak kelapa sebagai bahan isolasi cair. Pemanasan dengan tingkatan suhu bervariasi antara 50° sampai 90° Celcius dengan selisih 10°C tiap tingkatannya, serta lamanya pemanasan juga disajikan di bab ini. Untuk penambahan minyak zaitun sebagai campuran minyak kelapa bervariasi antara 5-25% dengan selisih 5% tiap tingkat penambahannya. Susunan elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah setengah bola dengan jarak 2,5 mm sesuai SPLN No. 49-1: 1982. Pemaparan tegangan tinggi dimulai dan dinaikan sebesar 2 kV setiap penambahan tegangan tinggi. Jenis tegangan yang diberikan adalah tegangan AC.

Analisis serta penyajian data yang didapat dari hasil pengujian dan pengukuran akan dikelompokkan sesuai dengan masing-masing pengujian objek uji. Sehingga subbab-subbab pada bab ini akan menjelaskan mengenai pengaruh masing-masing objek uji.

4.1 Hasil Pengujian Pengaruh Minyak Kelapa Murni Terhadap Tegangan Tembus

Pada pembahasan ini pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi AC. Dalam pengujian yang dilakukan dengan menggunakan elektroda standart. Diamteter elektroda standar yaitu 3,6 cm, dilakukan pada jarak sela 2,5 mm. Pada Tabel 4.1 dapat dianalisis bahwa pada pengujian dengan jumlah volum yang dinaikan 25 ml setiap penambahan minyak mengalami kenaikan tegangan tembus. Kenaikan tegagan tembus pada minyak kelapa tidaklah terlalu nampak, dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah volum minyak kelapa pada pengujian tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan tembus.

Minyak kelapa murni memiliki tegangan tembus yang masih dibawah standar pengujian tegangan tembus minyak yaitu 30 kV/mm. Dari Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa pada elektroda standar pada jarak 2,5 mm, tegangan tembus pada minyak kelapa murni jika dirata-rata yaitu 23,88 kV, sehigga minyak kelapa murni belum layak digunakan untuk pengganti isolasi minyak pada peralatan tegangan tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya zat aditif sebagai campuran yang dapat menaikkan nilai tegangan tembus agar minyak kelapa layak untuk

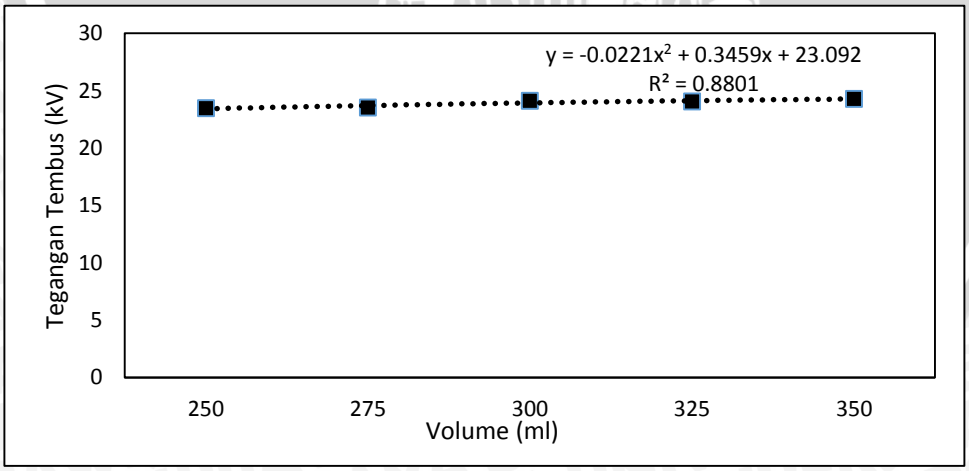
digunakan di dalam pengujian tegangan tembus yaitu dengan menggunakan campuran minyak zaitun. Pada subbab selanjutnya volum 250 ml dijadikan acuan, karena pada volum 250 bagian elektroda sudah tercelup semua. Data pengujian tegangan tembus minyak kelapa murni ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni

Minyak Kelapa (ml)	Tegangan Tembus (kV)	Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
250	19,36	23,47
	23,20	
	27,86	
275	20,04	23,53
	24,56	
	25,98	
300	21,41	24,10
	24,67	
	26,23	
325	21,43	24,05
	24,15	
	26,56	
350	22,78	24,27
	24,68	
	25,34	
	Rata-rata:	23,88

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh volume minyak kelapa murni pada gelas uji terhadap tingkat tegangan tembus AC pada Tabel 4.1 dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik tegangan tembus minyak kelapa murni
Sumber: Hasil Pengujian

4.2 Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun Terhadap Tegangan Tembus

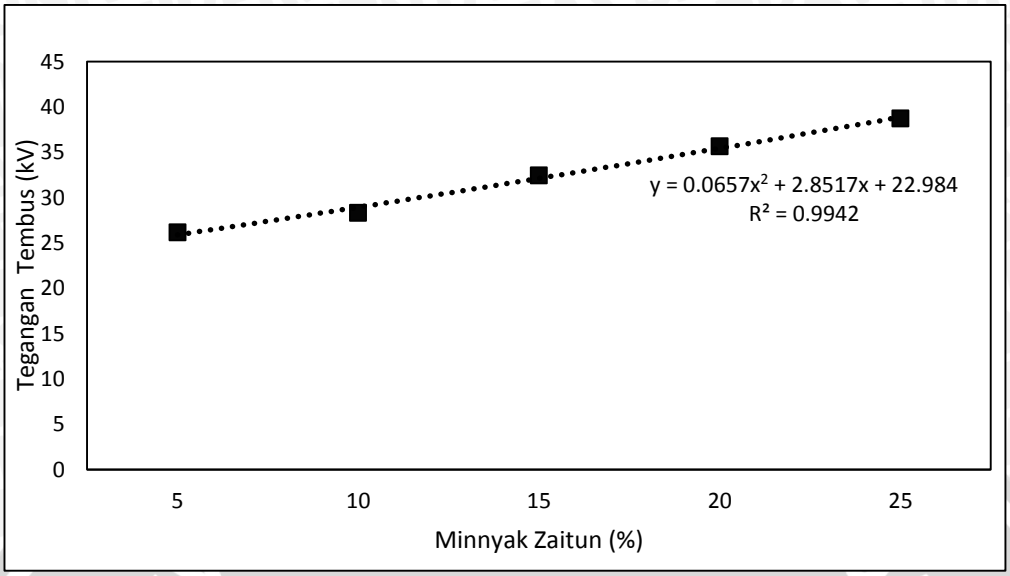
Pengujian tegangan tembus menggunakan elektroda standar. Pada pengujian tersebut dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil rata-rata tegangan tembusnya sehingga didapatkan nilai keakuratan dari pengujian menggunakan elektroda setengah bola. Pada pegujian ini dilakukan penambahan minyak zaitun sebagai campuran minyak kelapa. Penambahan minyak zaitun dimulai dari 5%-25% dari jumlah minyak kelapa yang digunakan pada pengujian, yaitu 250 ml. Setiap kenaikan penambahan minyak zaitun adalah 5%. Untuk data pengujian tegangan tembus elektroda standart dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun Terhadap Tegangan Tembus

No	Minyak Zaitun (%)	Tegangan Tembus (kV)	Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
1	5%	24,76	26,16
		25,87	
		27,86	
2	10%	26,87	28,33
		28,24	
		29,88	
3	15%	30,56	32,44
		32,65	
		34,12	
4	20%	33,78	35,65
		35,98	
		37,19	
5	25%	37,89	38,73
		39,87	
		38,44	

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun ke dalam minyak kelapa pada gelas uji terhadap tingkat tegangan tembus AC pada Tabel 4.2 dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus
Sumber: Hasil Pengujian

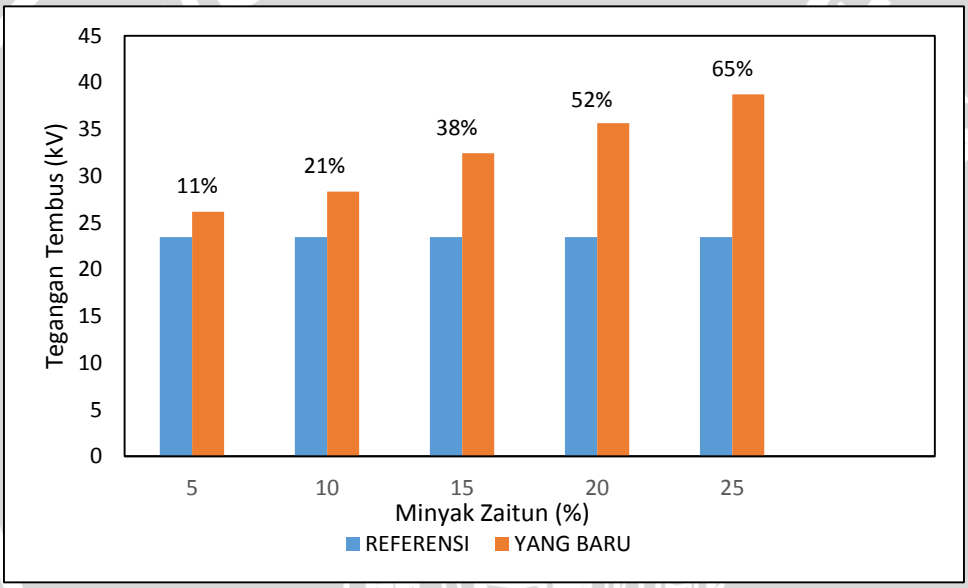
Dari Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa pada elektroda standar dengan jarak sela 2,5 mm, dengan penambahan minyak zaitun pada minyak kelapa mengakibatkan tegangan tembus mengalami kenaikan. Pada Gambar 4.2 menyatakan bahwa ketika dilakukan pencampuran minyak zaitun sebesar 5% dari 250 ml, yaitu 12,5 ml (Tabel 3.1) tegangan tembus pada elektroda standart yaitu 26,16 kV, sehingga terjadi perubahan dengan adanya pencampuran minyak zaitun. Sebelum dilakukan pencampuran minyak zaitun tegangan tembus nya 23,47 kV pada volum 250 ml (Tabel 4.1) sehingga terjadi kenaikan sebesar 3,5 kV atau jika dijadikan dalam persen, kenaikan sebesar 6% ketika dilakukan pencampuran minyak zaitun. Ketika dilakukan pencampuran minyak zaitun 10%, maka tegangan tembus dari elektroda standart menjadi 28, 33 kV dengan volume minyak sebesar 250 ml. Tegangan tembus tersebut naik sebesar 21%. Campuran minyak zaitun ditambah menjadi 15%, maka diperoleh tegangan tembus sebesar 32,44 kV. Tegangan tersebut naik sebesar 38%. Maka dengan pencampuran sebesar 15% atau sebanyak 37,5 ml minyak zaitun sudah didapatkan kelayakan isolasi penggunaan minyak kelapa pada peralatan tegangan tinggi, karena tegagan tembus tersebut berada diatas standar minimum 30 kV. Ketika dilakukan pencampuran 20% dan 25% minyak zaitun, tegangan tembus masing-masing naik sebesar 52% dan 65% ,yaitu naik menjadi 35,65 kV dan 38,73 kV. Kenaikan rata-rata tegangan tembus sebesar 3,475 kV. Berikut Tabel 4.3 menunjukan presentase kenaikan tegangan tembus:

Tabel 4.3 Presentase Kenaikan Tegangan Tembus

Minyak Zaitun (%)	Tegangan Tembus (kV)		Selisih	Presentase Kenaikan
	Yang Baru	Referensi		
5	26,16	23,47	2,69	11%
10	28,33	23,47	4,86	21%
15	32,44	23,47	8,97	38%
20	35,65	23,47	12,18	52%
25	38,73	23,47	15,26	65%

Sumber: Hasil Pengujian

Dari Tabel 4.3 dapat dinyatakan dalam bentuk grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa murni (referensi) dengan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan campuran minyak zaitun (yang baru) pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik presentase kenaikan tegagan tembus minyak kelapa menggunakan campuran minyak zaitun

Sumber: Hasil Pengujian

Pada Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa semakain besar penambahan minyak zaitun, maka selisih tegangan tembus juga semakin besar, sehingga presentase kenaikan tegangan tembusnya juga ikut semakin besar.

Tidak sama halnya dengan minyak nabati jenis lain seperti randu, sawit, dsb, fenomena yang muncul setelah minyak digunakan dalam pengujian tegangan tembus maka didalam minyak tersebut akan tampak hitam dikarenakan tegangan yang telah diberikan telah merusak struktur didalam minyak randu sehingga minyak tersebut yang telah digunakan untuk pengujian tegangan tembus tidak bisa digunakan lagi untuk pengujian. Namun tidak untuk minyak kelapa.

Setelah dilakukan tiga kali pengujian, kondisi minyak kelapa masih sama seperti sebelum melakukan pengujian. Begitu pula dengan ditambahnya campuran minyak zaitun kedalam minyak kelapa, kondisi minyak kelapa yang telah diuji masih sama dengan minyak kelapa yang sebelum diuji. Itu disebabkan karena sifat dari minyak kelapa dan minyak zaitun yang tahan terhadap tekanan dan oksidasi, seperti yang telah dijelaskan di Bab II.

4.3 Hasil Pengujian Pengaruh Pemanasan Terhadap Tegangan Tembus

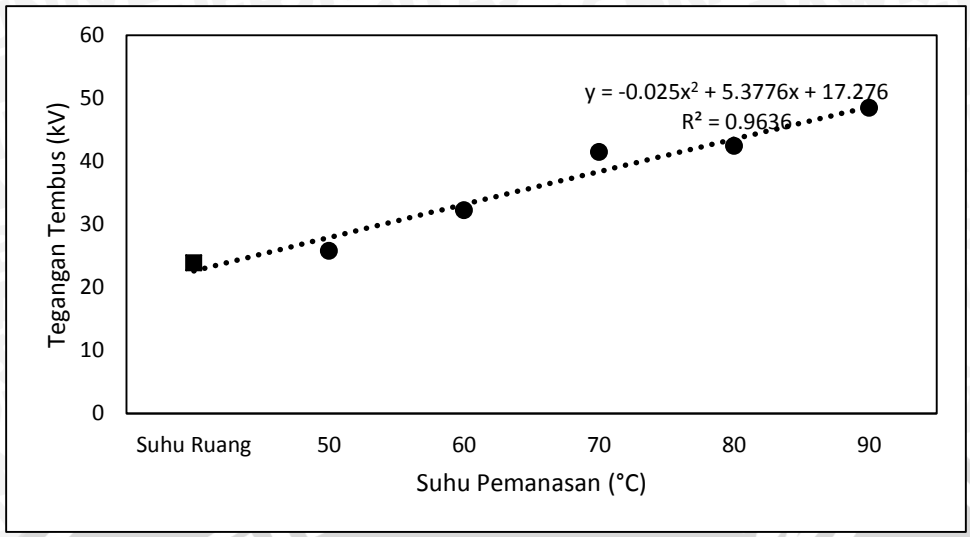
Pada pengujian ini dilakukan pemurnian dengan pemanasan menggunakan oven listrik sebelum diuji tegangan tembus nya. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam minyak goreng kelapa tersebut. Hasil pengujian tegangan tembus pada minyak kelapa dengan memvariasikan suhu pemanasan mulai dari 50°C-90°C dan lama pemanasan yang bertahap ditujukan pada Tabel (4.4 s/d 4.6)

Tabel 4.4 Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 30 Menit

Suhu (°C)	**Tegangan Tembus (kV)**			
	1	2	3	Rata-rata
50	24,23	25,15	28,03	25,80
60	30,23	32,34	34,15	32,24
70	39,54	41,27	43,66	41,49
80	41,55	40,76	44,98	42,43
90	46,67	48,09	50,66	48,47

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh suhu pemanasan dengan lama pemanasan 30 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 30 menit

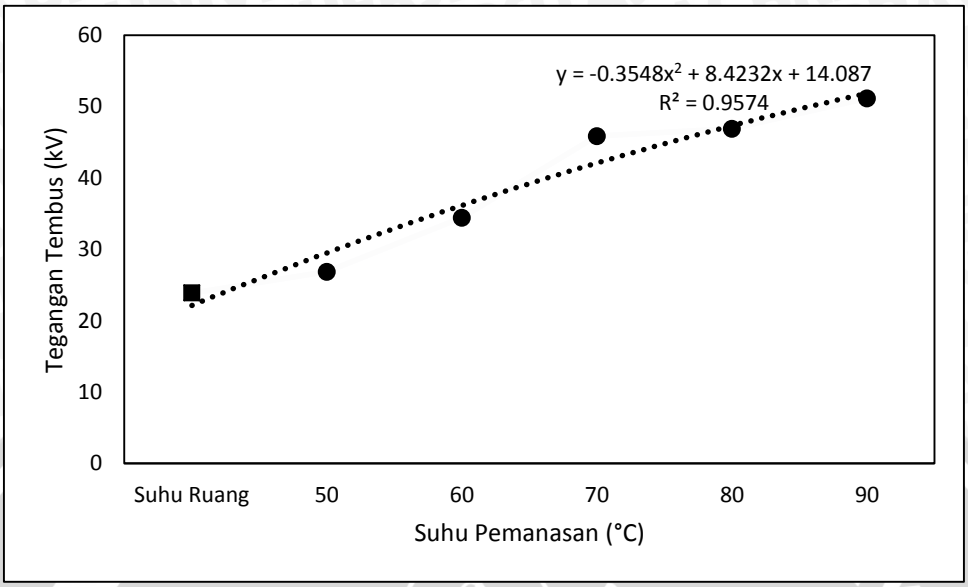
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.5 Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 60 Menit

Suhu (°C)	**Tegangan Tembus (kV)**			
	1	2	3	Rata-rata
50	26,15	26,89	27,56	26,87
60	33,17	34,65	35,54	34,45
70	41,45	46,78	49,34	45,86
80	45,56	47,13	48,04	46,91
90	50,13	51,87	51,45	51,15

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh suhu pemanasan dengan lama pemanasan 30 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 60 menit

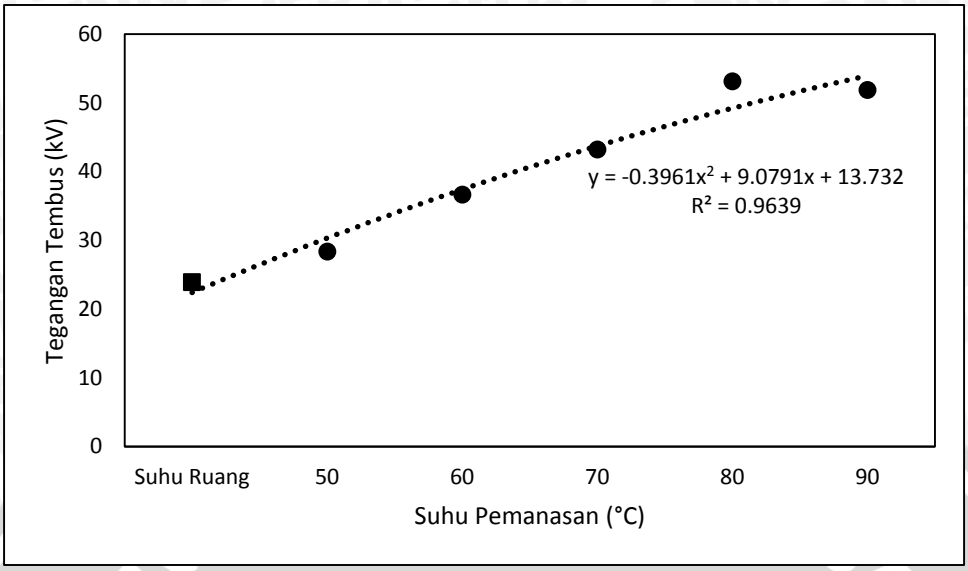
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.6 Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Tanpa Campuran Minyak Zaitun dengan Lama Pemanasan 90 Menit

Suhu (°C)	**Tegangan Tembus (kV)**			
	1	2	3	Rata-rata
50	27,86	28,15	28,97	28,33
60	35,67	36,35	37,89	36,64
70	42,88	45,51	46,34	44,91
80	50,08	54,67	54,78	53,18
90	52,54	51,65	51,35	51,85

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh suhu pemanasan dengan lama pemanasan 30 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.6



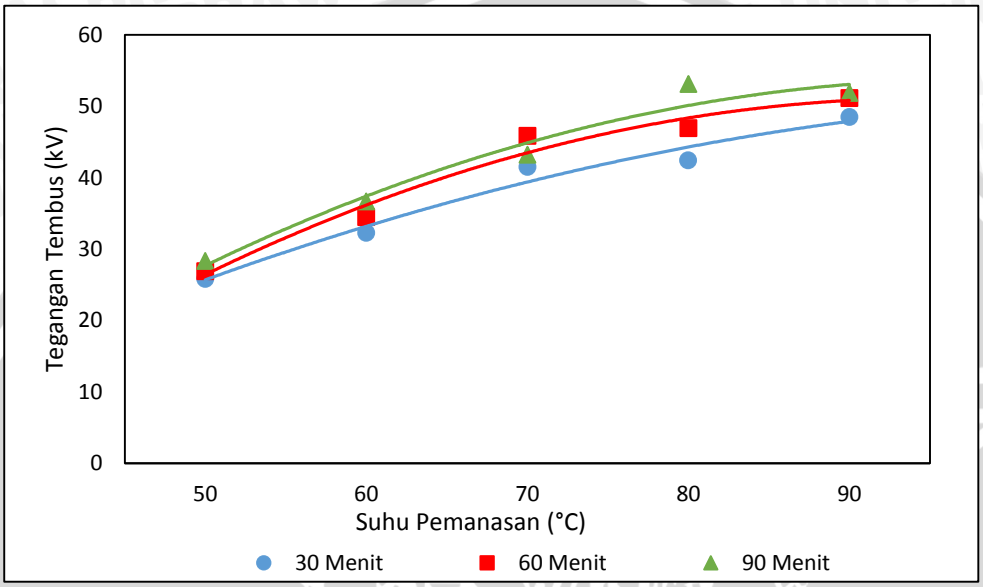
Gambar 4.6 Grafik tegangan tembus minyak kelapa tanpa campuran minyak zaitun dengan lama pemanasan 90 menit

Sumber: Hasil Penelitian

Dari Tabel (4.4 s/d 4.6) didapatkan bahwa minyak kelapa yang dipanaskan terlebih dahulu, tegangan tembusnya cenderung naik dan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan tegangan tembus pada minyak kelapa tanpa pemanasan (suhu ruang) atau yang disebut minyak kelapa murni (Gambar 4.4 s/d 4.6). Minyak yang dipanaskan pada suhu pemanasan 50°C dengan lama pemanasan 30 menit tegangan tembusnya sebesar 25,8 kV. Sedangkan untuk suhu yang sama, namun pemanasan selama 60 menit dan 90 menit tegangan tembus minyak kelapa naik menjadi 26,87 kVdan 28,33 kV. Kenaikan tegangan tembus tersebut sebesar 10%, 14% dan 21% untuk masing- masing lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Tegangan tembus pada suhu pemanasan 50°C ini belum memenuhi tegangan tembus standar.

Tapi ketika minyak kelapa dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit tegangan tembus minyak kelapa mengalami kenaikan hingga mencapai 32,24 kV. Sedangkan untuk pemanasan selama 60 menit dan 90 menit pada suhu yang sama tegangan tembusnya masing-masing sebesar 34,45 kV dan 36,64 kV. Tegangan tembus tersebut sudah memenuhi standar minimum tegangan tembus atau dengan kata lain tegangan tembus pada suhu pemanasan 60°C selama 30 menit berada diatas standar minimum 30 kV, sehingga hanya dengan suhu pemanasan 60 °C selama 30 menit minyak kelapa layak menjadi bahan isolasi cair pada peralatan listrik. Tidak berhenti pada suhu pemanasan 60°C, suhu pemanasan semakin ditingkatkan 10°C setiap kenaikan suhu pemanasan. Hasilnya menunjukan semakin besar suhu pemanasan dan lama pemanasan, maka tegangan tembus

minyak kelapa juga semakain naik. Pada suhu pemanasan 90°C dengan lama pemanasan 30 menit, tegangan tembus naik menjadi 48,47 kV. Sedangkan untuk pemanasan selama 60 menit dan 90 menit pada suhu yang sama tegangan tembus nya masing- masing sebesar 51,15 kV dan 51,58 kV. Untuk lebih jelas pengaruh tanpa dan dengan pemanasan terhadap tegangan tembus dengan lama pemanasan yang berbeda dapat dilihat Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik tegangan tembus minyak kelapa yang dipanaskan secara bertahap sebagai fungsi suhu

Sumber: Hasil Penelitian

Pada pemanasan selama 30 menit setiap kenaikan suhu 10°C tegangan tembus minyak kelapa mengalami kenaikan rata-rata sebesar 5,67 kV. Kenaikan tegangan tembus paling tinggi terjadi pada pemanasan dari suhu 60°C ke 70°C yaitu sebesar 9,25 kV. Kenaikan rata-rata tegangan tembus minyak untuk pemanasan selama 60 menit dan 90 menit masing- masing sebesar 6,07 kV dan 6,54 kV. Untuk pemanasan selama 60 menit kenaikan tegangan tembus paling tinggi juga terjadi pada pemanasan dari suhu 60°C ke 70°C yaitu sebesar 11,41 kV. Sedangkan kenaikan tegangan tembus paling tinggi untuk pemanasan selama 90 menit terjadi pada pemanasan dari suhu 70°C ke 80°C yaitu sebesar 8,27 kV.

Pada suhu yang sama, namun dengan lama pemanasan yang berbeda terjadi kenaikan tegangan tembus dari 50°C-80°C. Kenaikan tegangan tembus terbesar yaitu pada suhu 80°C dengan rata-rata 5,38 kV Kenaikan tegangan tembus berhenti pada suhu 90°C pemanasan 90 menit. Pada suhu 80°C ke 90°C tegangan tembus turun dengan rata- rata 3,69 kV setiap kenaikan lama pemanasan. Dapat di lihat pada Gambar 4.6 dimana setiap kenaikan suhu maka tegangan

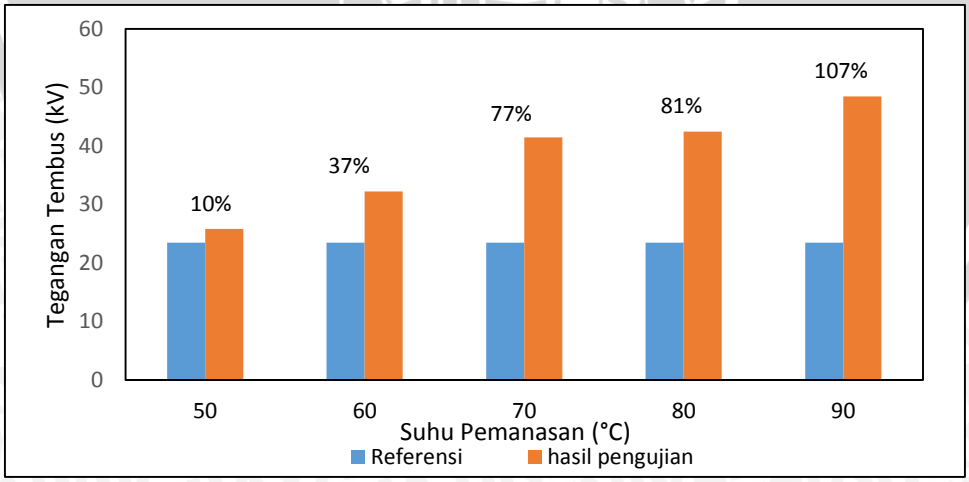
tembus juga naik setiap kenaikan lama pemanasan, namun dari pemanasan 60 menit ke 90 menit kenaikan tidak sebesar kenaikan dari pemanasan 30 menit ke 60 menit. Hal ini disebabkan karena struktur minyak sedikit telah rusak akibat pemaparan suhu yang tinggi dan tegangan tinggi yang telah sering dilakukan.

Untuk presentase kenaikan tegangan tembus, semakin besar suhu dan lama pemanasan, maka semakin besar presentase kenaikan tegangan tembusnya. Kenaikan terbesar terjadi pada suhu 60°C-70°C dengan lama pemanasan 30 menit dan 60 menit yaitu masing- masing sebesar 40% dan 48%, namun pada pemanasan 90 menit presentase kenaikan terjadi pada suhu 70°C-80°C yaitu 43%. Dari hasil pengujian tegangan tembus naik mencapai 127%. Data presentase kenaikan dapat dilihat pada Tabel (4.7 s/d 4.9) dan dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar (4.8 s/d 4.10).

Tabel 4.7 Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 30 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		Selisih	Presentase Kenaikan
	Hasil Pengujian	Referensi		
50	25,8	23,47	2,33	10%
60	32,4	23,47	8,77	37%
70	41,9	23,47	18,02	77%
80	42,3	23,47	18,96	81%
90	48,7	23,47	25,00	107%

Sumber: Hasil Pengujian



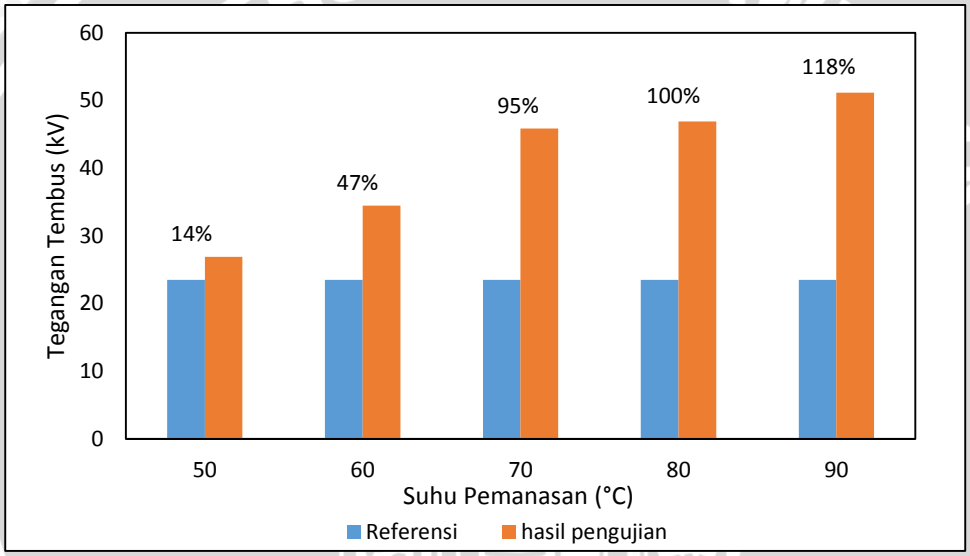
Gambar 4.8 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 30 menit

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.8 Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 60 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		Selisih	Presentase Kenaikan (%)
	Hasil Pengujian	Referensi		
50	26,87	23,47	3,40	14%
60	34,45	23,47	10,98	47%
70	45,86	23,47	22,39	95%
80	46,91	23,47	23,44	100%
90	51,15	23,47	27,68	118%

Sumber: Hasil Pengujian



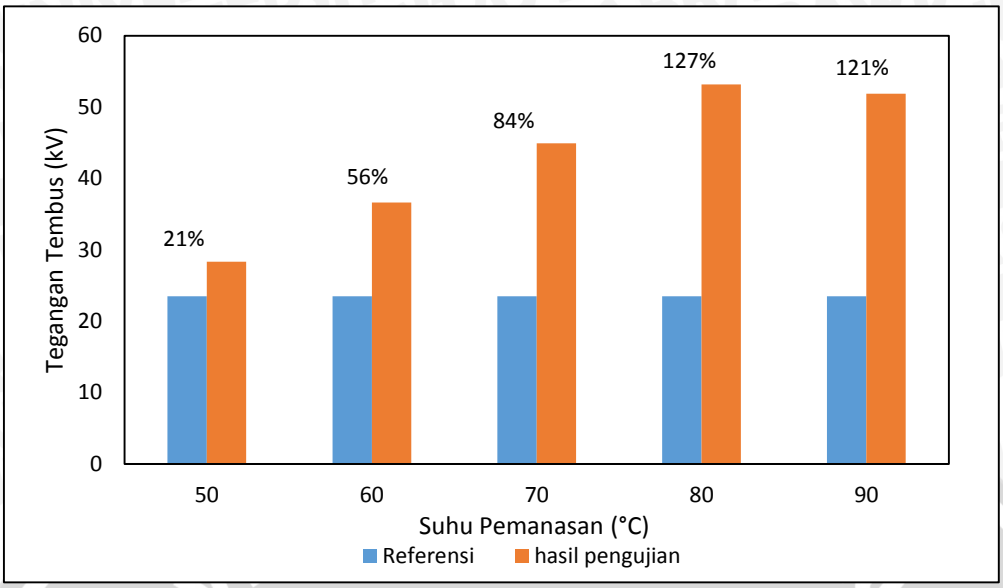
Gambar 4.9 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 60 menit

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.9 Data Presentase Kenaikan Tegangan Tembus Pemanasan 90 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		Selisih	Presentase Kenaikan
	Hasil Pengujian	Referensi		
50	28,33	23,47	4,86	21%
60	36,64	23,47	13,17	56%
70	44,91	23,47	21,44	91%
80	53,18	23,47	29,71	127%
90	51,85	23,47	28,38	121%

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.10 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus minyak kelapa menggunakan pemanasan 90 menit

Sumber: Hasil Pengujian

4.4 Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Minyak Zaitun dengan Pemanasan Terhadap Tegangan Tembus

Seperti yang kita ketahui di sub bab sebelumnya bahwa pada elektroda standar dengan penambahan minyak zaitun sebagai campuran minyak kelapa akan mengalami kenaikan tegangan tembus. Begitu pula dengan minyak kelapa yang dipanaskan terlebih dahulu yang bertujuan mengurangi kadar air akan mengalami kenaikan tegangan tembus. Dari hasil pengujian yang dilakukan bahwa ketika ditambah minyak zaitun dan kemudian dipanaskan, nilai tegangan tembus minyak kelapa lebih besar dibandingkan dengan hanya menambahkan minyak zaitun atau hanya dengan dipanaskan.

4.4.1 Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Presentase Minyak Zaitun Pada Suhu yang Tetap

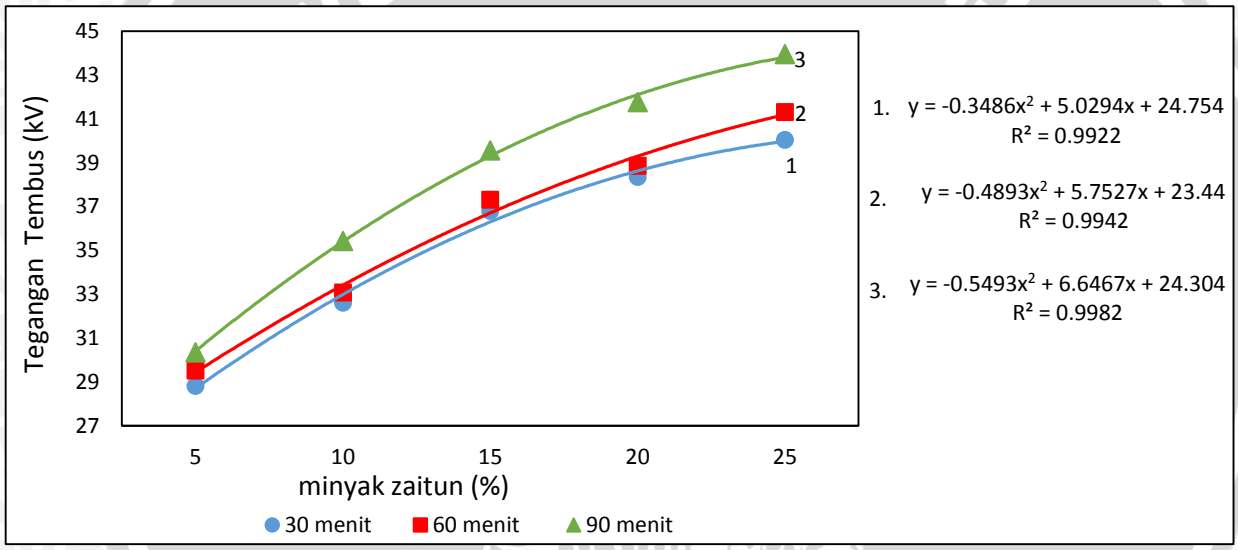
Pada pengujian kali ini dengan memvariasikan presentase minyak zaitun dan lama pemanasan pada suhu yang tetap dapat dilihat pengaruh penambahan minyak zaitun itu sendiri dengan suhu yang tetap, namun diinginkan juga bagaimana karakteristiknya jika suhu nya bertambah. Data hasil pengujiannya dapat diamati di Tabel 4.10-4. 14 berikut:

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50°C

Minyak Zaitun (%)	Tegangan tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
5	28,81	29,51	30,35
10	32,61	33,07	35,42
15	36,79	37,30	39,55
20	38,34	38,85	41,75
25	40,03	41,31	43,94

Sumber: Hasil pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun pada suhu pemanasan 50°C dengan lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 50°C

Sumber: Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dianalisis bahwa penambahan minyak zaitun dan dengan pemanasan zaitun dapat menaikkan tegangan tembus minyak kelapa bahkan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya ditambah minyak zaitun atau dengan dipanaskan saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama, seiring bertambahnya penambahan minyak zaitun dan semakin lama pemanasannya tegangan tembus nya akan naik. Pada suhu 50°C selama 30 menit tegangan tembusnya mengalami kenaikan rata-rata sebesar 2,81 kV, kenaikan paling tinggi pada presentase minyak zaitun 10% ke 15%. Sedangkan pada suhu yang sama namun pemanasan selama 60 menit dan 90 menit kenaikan rata- rata tegangan tembusnya masing- masing adalah 2,95 kV dan 3,4 kV. Untuk pemanasan selama 60 menit kenaikan

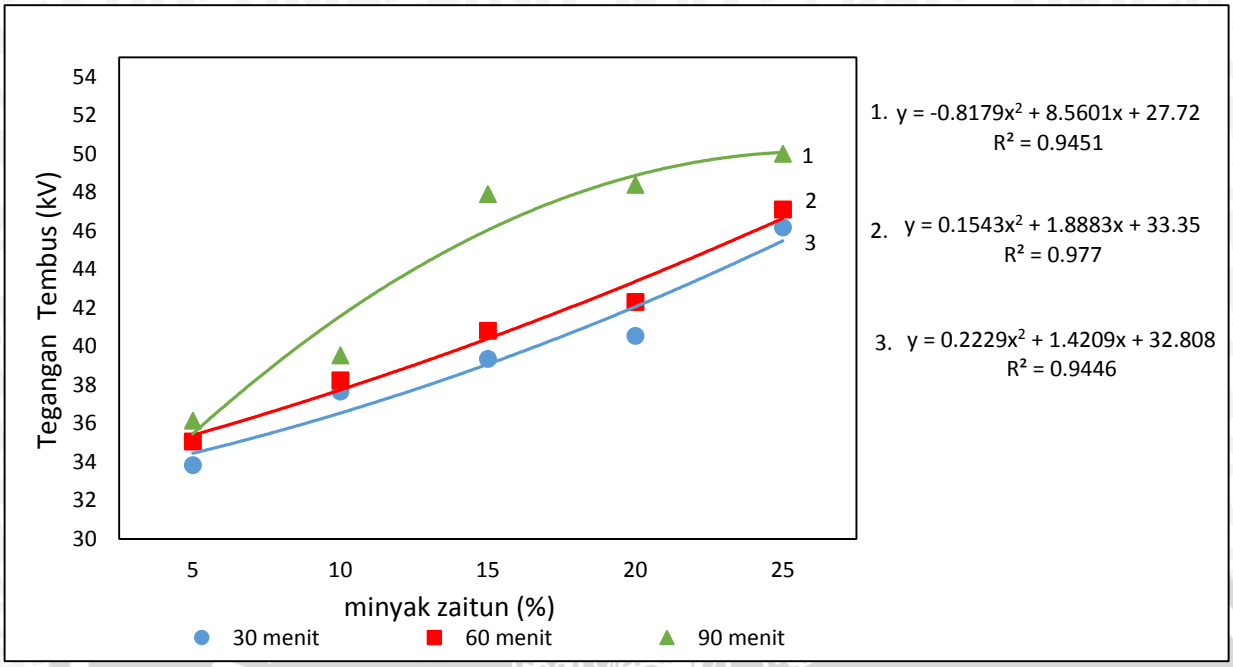
tegangan tembus paling tinggi juga terjadi dari presentase 10% ke 15%, yaitu sebesar 4, 23 kV. Sedangkan kenaikan tegangan tembus paling tinggi untuk pemanasan selama 90 menit terjadi pada presenatse dari 5% ke 10%. Tapi pada suhu yang sama dan jumlah presentase minyak zaitun yang sama juga, kenaikan tiap 30 menit hanya mengalami sedikit kenaikan tegangan tembus jika dibanndingkan dengan penambahan minyak zaitun. Ini menandakan pengaruh penambahan minyak zaitun lebih besar jika dibandingkan lama pemanasan. Kenaikan rata- rata tegangan tembus untuk presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% masing- masing adalah 0,77 kV; 1,4 kV; 1,38 kV; 1,75 kV dan 1,96 kV. Jika dirata-rata semua kenaikan tegangan tembus pada presentase minyak zaitun dan suhu yang sama namun lama pemaasan yang berbedah adalah sebesar 1,44 kV. Dapat dilihat pada Gambar 4.11 semakin lama minyak dipanaskan maka tegangan tembus bertambah naik, kenaikan tegagan tembus tertinggi dari lama pemanasan 60 menit ke 90 menit.

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60°C

Minyak Zaitun (%)	**Tegangan Tembus (kV)**		
	30 Menit	**60 Menit**	**90 Menit**
5	33,84	35,07	36,16
10	37,67	38,25	39,55
15	39,36	40,82	47,91
20	40,55	42,31	48,40
25	46,19	47,11	50,00

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun pada suhu pemanasan 60°C dengan lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 60°C

Sumber: Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dianalisis bahwa penambahan minyak zaitun dan dengan pemanasan zaitun dapat menaikkan tegangan tembus minyak kelapa bahkan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya ditambah minyak zaitun atau dengan dipanaskan saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama, seiring bertambahnya penambahan minyak zaitun dan semakin lama pemanasannya tegangan tembus nya akan naik.

Pada suhu pemanasan 60°C selama 30 menit tegangan tembusnya mengalami kenaikan rata-rata sebesar 3,09 kV, kenaikan paling tinggi pada presentase minyak zaitun 20% ke 25%. Sedangkan pada suhu yang sama, namun pemanasan selama 60 menit dan 90 menit kenaikan rata- rata tegangan tembusnya masing- masing adalah 3,01 kV dan 3,46 kV. Untuk pemanasan selama 60 menit kenaikan tegangan tembus paling tinggi juga terjadi dari presentase 20% ke 25%, yaitu sebesar 4,8 kV. Sedangkan kenaikan tegangan tembus paling tinggi untuk pemanasan selama 90 menit terjadi pada presenatse dari 10% ke 15%, yaitu sebsar 8,36 kV. Tapi pada suhu yang sama dan jumlah presentase minyak zaitun yang sama juga, kenaikan setiap 30 menit hanya mengalami sedikit kenaikan tegangan tembus jika dibanndingkan dengan penambahan minyak zaitun. Kenaikan rata-rata tegangan tembus untuk presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% masing-masing adalah 1,16 kV; 0,94 kV; 4,28 kV; 3,93 kV dan 1,91 kV.

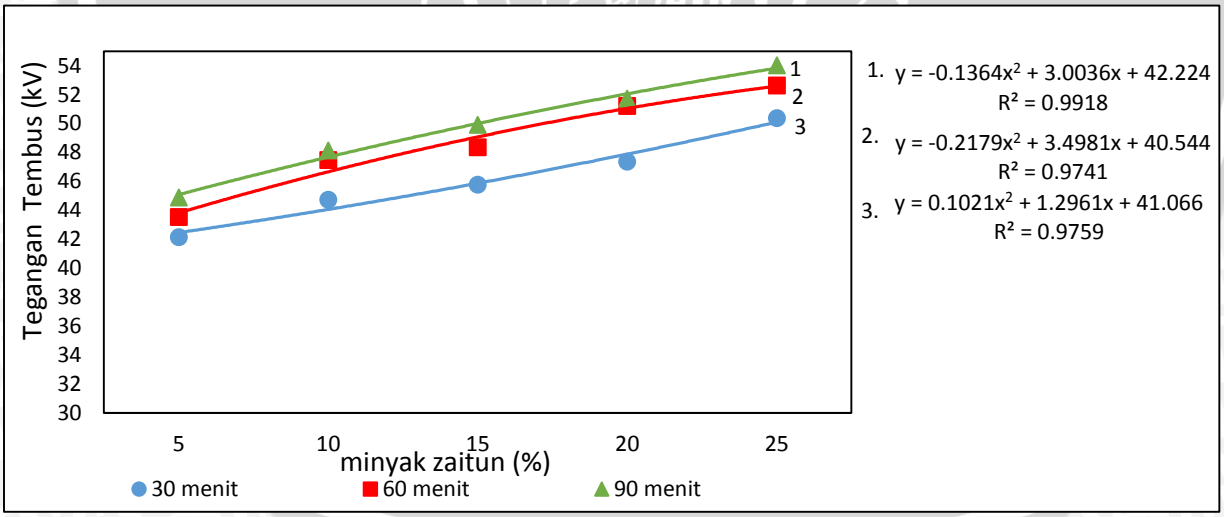
Jika dirata-rata semua kenaikan tegangan tembus pada presentase minyak zaitun dan suhu yang sama namun lama pemaasan yang berbedah adalah sebesar 2,44 kV. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 semakin lama minyak dipanaskan maka tegangan tembus bertambah naik, kenaikan tegagan tembus tertinggi dari lama pemanasan 60 menit ke 90 menit.

Tabel 4. 12 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 70°C

Minyak Zaitun (%)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
5	42,15	43,54	44,88
10	44,73	47,48	48,14
15	45,77	48,35	49,91
20	47, 36	51,21	51,73
25	50, 38	52,63	54,01

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun pada suhu pemanasan 70°C dengan lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 70°C

Sumber: Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dianalisis bahwa penambahan minyak zaitun dan dengan pemanasan zaitun dapat menaikkan tegangan tembus minyak kelapa bahkan nilainya lebih tinggi jika

dibandingkan dengan hanya ditambah minyak zaitun atau dengan dipanaskan saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama, seiring bertambahnya penambahan minyak zaitun dan semakin lama pemanasannya tegangan tembus nya akan naik.

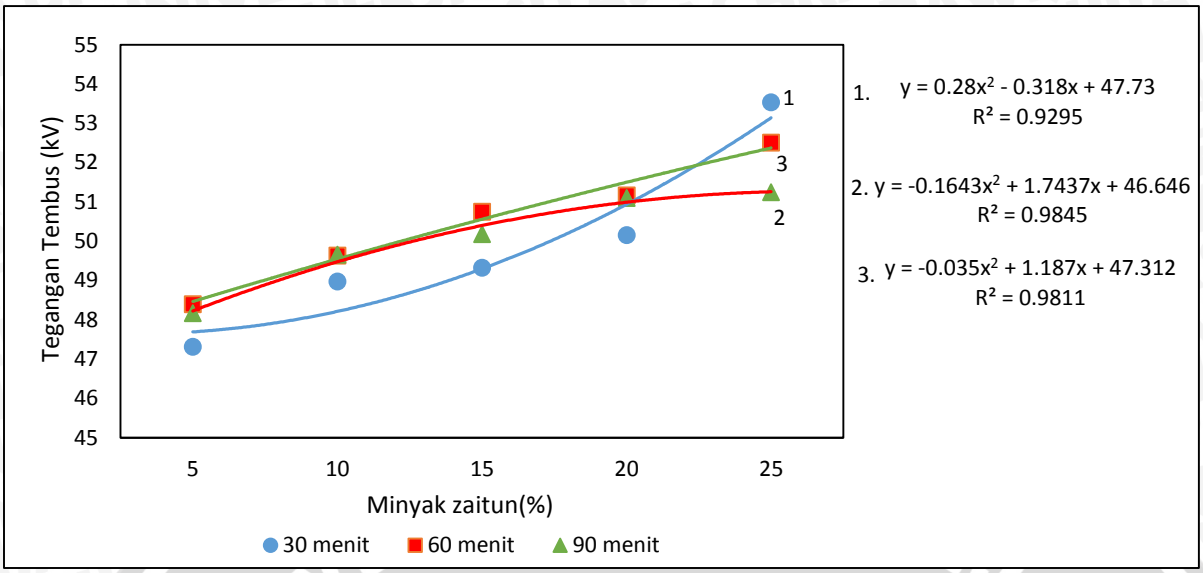
Pada suhu pemanasan 70°C mengalami penurunan kenaikan tegangan tembus. Kenaikan tegangan tembus pada suhu tidaklah sebesar seperti kenaikan tegangan tembus suhu pemanasan 50°C dan 60°C. Kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit masing- masing sebesar, yaitu 2,06 kV; 2,27 kV dan 2,28 kV. Untuk suhu yang sama dan jumlah presentase minyak zaitun yang sama juga, kenaikan setiap 30 menit hanya mengalami sedikit kenaikan tegangan tembus jika dengan penambahan minyak zaitun. Kenaikan rata-rata tegangan tembus untuk presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% masing-masing adalah 1,36kV; 1,7 kV ; 2,07 kV; 2,18 kV dan 1,82 kV. Jika dirata-rata semua kenaikan tegangan tembus pada presentase minyak zaitun dan suhu yang sama namun lama pemanasan yang berbedah adalah sebesar 1,41 kV. Ini sama halnya dengan suhu pemanasan 50°C dan 60°C. Dapat dilihat pada Gambar 4.13 semakin lama minyak dipanaskan maka tegangan tembus bertambah naik, kenaikan tegagan tembus tertinggi dari lama pemanasan 30 menit ke 60 menit.

Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 80°C

Minyak Zaitun (%)	**Tegangan Tembus (kV)**		
	30 Menit	**60 Menit**	**90 Menit**
5	47,31	48,39	48,17
10	48,97	49,63	49,66
15	49,32	50,75	50,18
20	50,15	51,16	51,10
25	53,53	52,51	51,24

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun pada suhu pemanasan 80°C dengan lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 80°C

Sumber: Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dianalisis bahwa penambahan minyak zaitun dan dengan pemanasan zaitun dapat menaikkan tegangan tembus minyak kelapa bahkan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya ditambah minyak zaitun atau dengan dipanaskan saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama, seiring bertambahnya penambahan minyak zaitun dan semakin lama pemanasannya tegangan tembus nya akan naik, namun pada suhu tertentu terhenti kenaikannya, melainkan tegangan tembus nya tetap. Hal tersebut dikarenakan pada suhu yang tinggi dapat merubah struktur kimia minyak tersebut.

Pada suhu pemanasan 80°C kenaikan tegangan tembus setiap penambahan minnyak zaitun tidaklah sebesar kenaikan tegangan tembus pada suhu pemanasan 50°C, 60°C dan 70°C. Kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit masing- masing sebesar, yaitu 1,56 kV; 1,03 kV dan 0,77 kV. Dapat diamati pada suuhu pemanasan ini terjadi penurunan kenaikan tegangan tembus setiap 30 menit pemanasan. Hal ini terjadi karena pemaparan suhu dan tegangan yang tinggi mulai merusak struktur susunan kimia minyak. Namun akibat penambahan minyak zaitun kedalam minyak kelapa ini membantu menyetabilkan tegangan tembus dari miyak kelapa ini, terbukti tegangan tembus setiap penambahan minyak zaitun dan kenaikan lama pemanasan, tegangan tembus nya naik walaupun kenaikan tegangan tembus nya tidak sebesar pada suhu 50°C, 60°C dan 70°C. Dapat dilihat pada

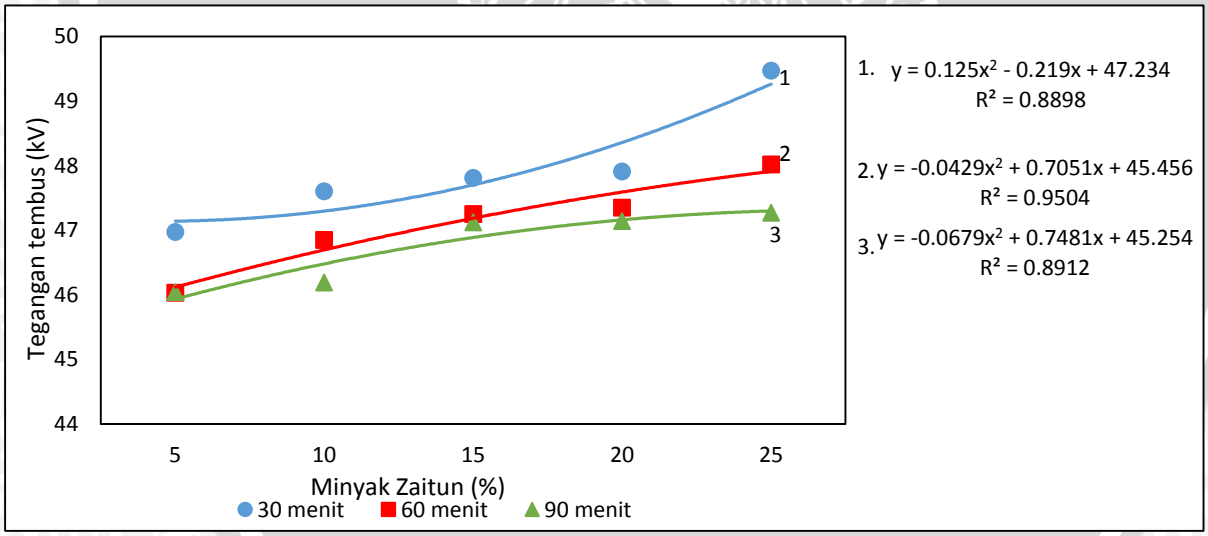
Gambar 4.14 grafik menunjukan kenaikan tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit ke 60 menit, namun dari pemanasan selama 60 menit ke 90 menit kenaikan itu terhenti.

Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 90°C

Minyak Zaitun (%)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
5	46,97	46,03	46,04
10	47,60	46,85	46,19
15	47,81	47,25	47,12
20	47,91	47,35	47,14
25	49,47	48,02	47,27

Sumber: Hasil Pengujian

Pengaruh penambahan minyak zaitun pada suhu pemanasan 80°C dengan lama pemanasan 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap tegangan tembus dapat dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.15



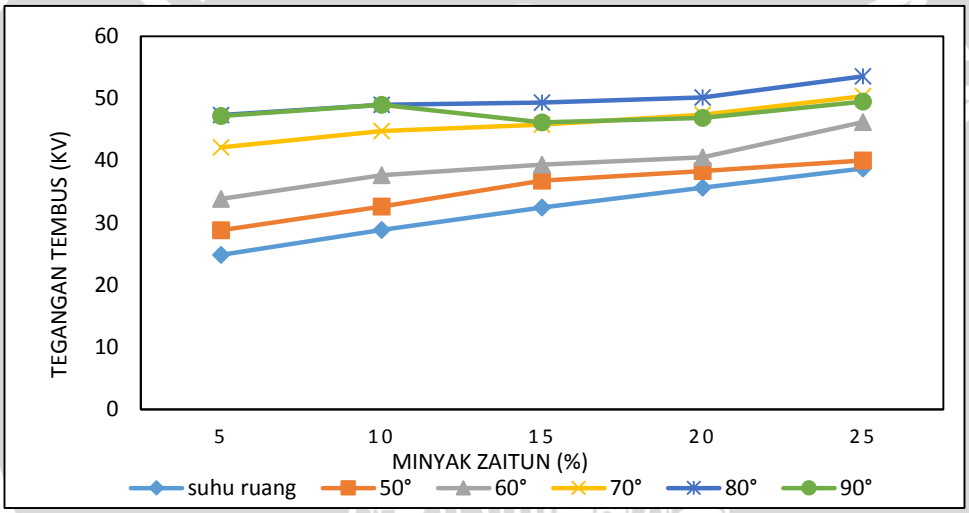
Gambar 4.15 Grafik tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan secara bertahap pada suhu 90°C

Sumber: Hasil Pengujian

Dari grafik dapat dianalisis bahwa penambahan minyak zaitun dan dengan pemanasan zaitun dapat menaikkan tegangan tembus minyak kelapa bahkan nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya ditambah minyak zaitun atau dengan dipanaskan saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu yang sama, seiring bertambahnya penambahan minyak zaitun dan semakin lama pemanasannya tegangan tembus nya akan naik, namun pada

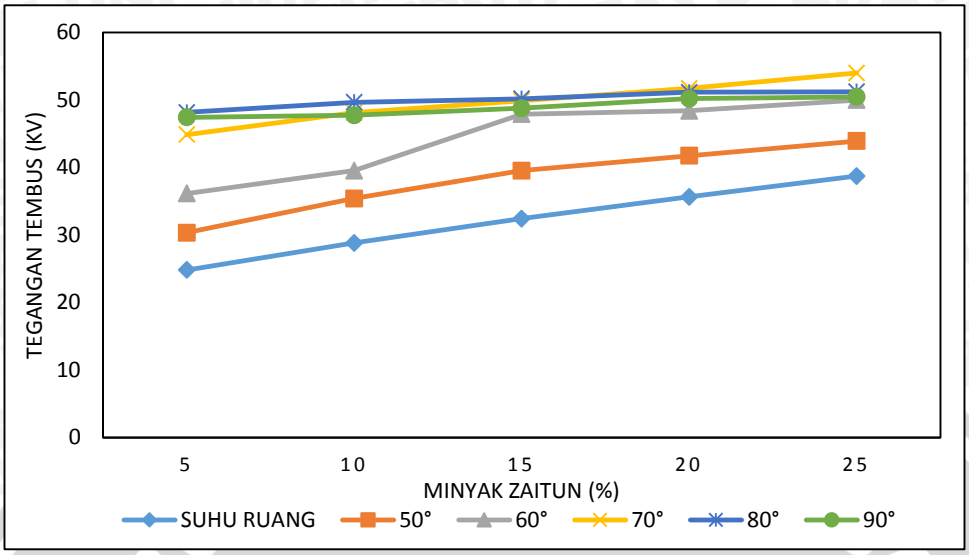
suhu tertentu terhenti kenaikannya, melainkan tegangan tembus nya tetap. Hal tersebut dikarenakan pada suhu yang tinggi dapat merubah struktur kimia minyak tersebut. Minyak kelapa yang sudah dicampur dengan minyak zaitun dengan masing- masing presentase dipanaskanKenaikan tegangan tembus terkecil terjadi pada suhu pemanasan 90°C. Kenaikan rata-rata tegangan tembus pada suhu yang sama dan lama pemanasan yang sama dengan semakin bertambah campuran minyak zaitun di dalam minyak kelapa tegangan tembusnya mengalami kenaikan (lihat Gambar 4.15). Namun tidak untuk semakin lama minyak dipanaskan pada suhu ini, tegangan tembusnya malah menurun dengan rata-rata 0,6 kV. Ini dapat diamati pada Gambar 4.15.

Untuk karakteristik tegangan tembus untuk setiap penambahan minyak zaitun dapat diamati pada Gambar (4.16 s/d 4.18).



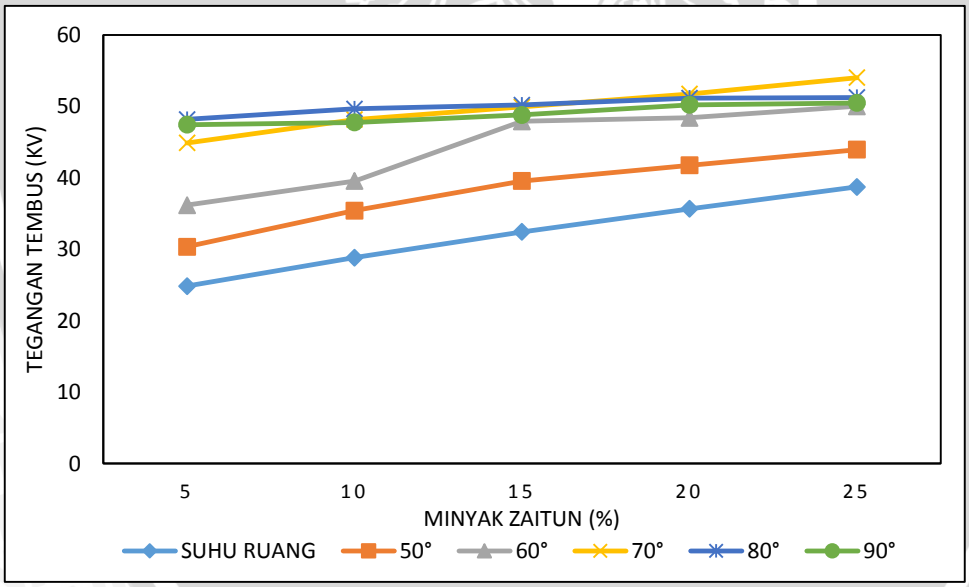
Gambar 4.16 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 30 menit

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 60 menit

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.18 Grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa dengan variasi campuran minyak zaitun yang dipanaskan pada berbagai suhu pemanasan selama 90 menit

Sumber: Hasil Pengujian

Untuk penjelasan pengaruh suhu pemanasan akan dijelaskan di sub bab selajutnya.

4.4.2 Hasil Pengujian Pengaruh Suhu Pemanasan pada Presentase Miyak Zaitun yang Tetap

Pada pengujian kali ini dengan memvariasikan suhu pemanasan dan lama pemanasan pada presentase campuran minyak zaitun yang tetap dapat dilihat pengaruh kenaikan suhu dan lama pemanasan itu sendiri dengan presentase minyak zaitun yang sama, namun diinginkan juga bagaimana karakteristiknya jika jumlah minyak zaitunnya bertambah. Pada Tabel (4.15 s/d 4.19) menunjukkan bahwa dengan mencampurkan 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% minyak zaitun ke dalam minyak kelapa yang kemudian dipanaskan pada suhu konstan 50°C selama 30 menit, kemudian didinginkan sampai suhu ruang dan barulah diuji kekuatan dielektriknya. Masih sama dengan objek yang tadi, tetapi dipanaskan kembali pada suhu yang sama dengan lama pemanasan 60 menit kemudian didinginkan sampai suhu ruang dan barulah diuji kekuatan dielektriknya. Dan terakhir diapanaskan lagi selama 90 menit kemudian didinginkan sampai suhu ruang dan barulah diuji kekuatan dielektriknya. Dengan objek uji yang baru menggunakan campuran 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% minyak zaitun ke dalam minyak kelapa yang kemudian dipanaskan pada suhu konstan 50°C selama 30 menit, kemudian didinginkan sampai suhu ruang dan barulah diuji kekuatan dielektriknya. Hal ini sama halnya yang dilakukan pada pengujian suhu 50°C dan begitu pun dengan suhu pemanasan 70°C, 80°C dan 90°C. Data hasil pengujiannya dapat diamati di Tabel (4.15 s/d 4.19) berikut:

Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 5% Minyak Zaitun

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
50	28,81	29,51	30,35
60	33,84	35,07	36,16
70	42,15	43,54	44,88
80	47,31	48,39	48,17
90	47,19	48,84	47,44

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 10% Minyak Zaitun

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
50	32,61	33,07	35,42
60	37,67	38,25	39,55
70	44,73	47,48	48,14
80	48,97	49,63	49,66
90	48,98	49,03	47,75

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 15% Minyak Zaitun

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
50	36,79	37,3	39,55
60	39,36	40,82	47,91
70	45,77	48,35	49,91
80	49,32	50,75	50,18
90	46,13	49,58	48,80

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 20% Minyak Zaitun

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
50	38,34	38,85	41,75
60	40,55	42,31	48,40
70	47,36	51,21	51,73
80	50,15	51,16	51,16
90	46,84	50,54	50,21

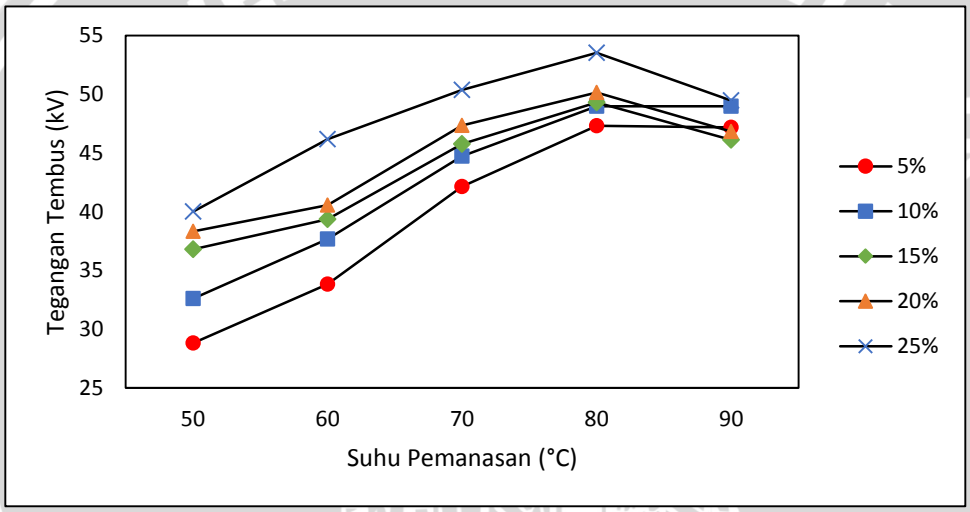
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Presentase 25% Minyak Zaitun

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	30 Menit	60 Menit	90 Menit
50	40,03	41,31	43,94
60	46,19	47,11	50,00
70	50,38	52,63	54,01
80	53,53	52,51	51,24
90	49,47	51,38	50,48

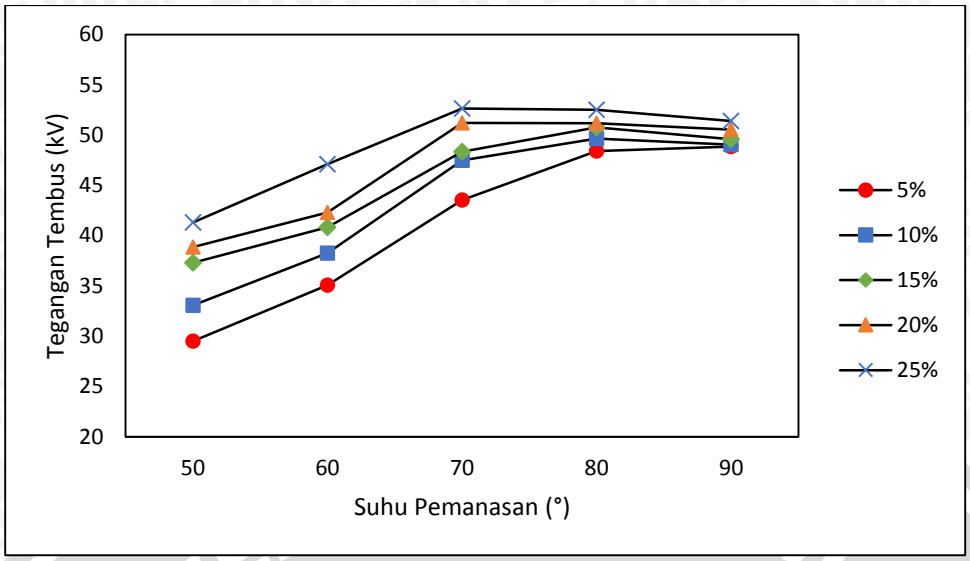
Sumber: Hasil Penelitian

Untuk karakteristik data pengujian pengaruh kenaikan suhu pemanasan pada masing masing presentase minyak zaitun dapat diamati pada Gambar 4.15- 4.17



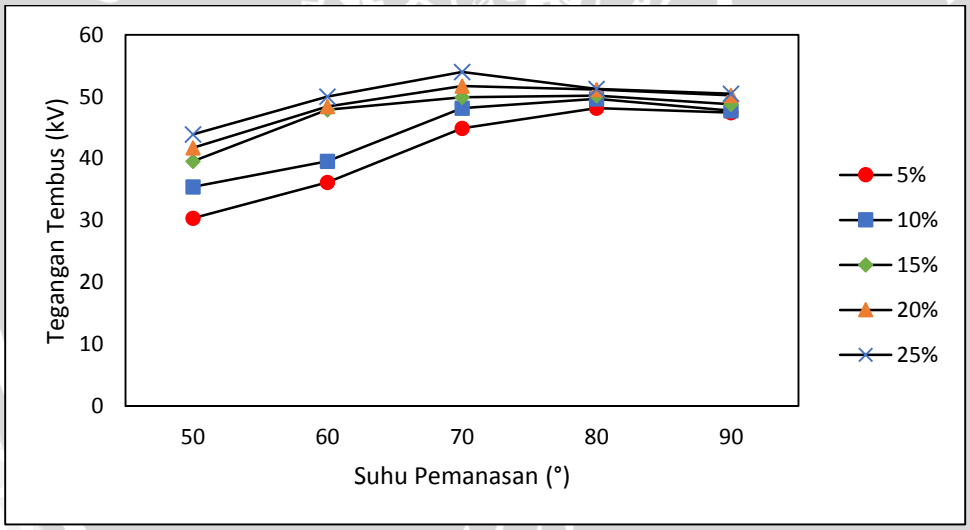
Gambar 4.19 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 30 menit

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.20 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 60 menit

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.21 Grafik tegangan tembus minyak kelapa berbagai presetase minyak zaitun sebagai fungsi suhu pemanasan selama 90 menit

Sumber: Hasil Penelitian

Dari data dapat kita amati pada 5% campuran minyak zaitun, tegangan tembus naik seiring dengan naiknya suhu dan lama pemanasan, namun pada suhu 90°C tegangan tembus turun sebesar 0,425 kV. Kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit masing- masing adalah sebesar 6,17 kV; 6,29 kV; 5,94 kV. Pada pemanasan selama 30 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 60°C ke 70°C, begitu pula dengan lama

pemanasan 60 menit dan 90 menit terjadi dari 60°C ke 70°C dengan kenaikan masing-masing sebesar 8,31 kV; 8,47 kV; 8,72 kV.

Pada 10% campuran minyak zaitun, tegangan tembus naik seiring dengan naiknya suhu pemanasan, namun pada suhu 90°C tegangan tembus turun sebesar 0,39 kV. Kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit masing- masing adalah sebesar 5,45 kV; 5,52 kV; 4,75 kV. Pada pemanasan selama 30 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 60°C ke 70°C, begitu pula dengan lama pemanasan 60 menit dan 90 menit terjadi dari 60°C ke 70°C dengan kenaikan masing- masing sebesar 7,06 kV; 9,23 kV; 8,59 kV.

Pada 15% campuran minyak zaitun, kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit masing- masing adalah sebesar 4,18 kV; 4,48 kV; 3,54 kV. Pada pemanasan selama 30 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 60°C ke 70°C, begitu pula dengan lama pemanasan 60 menit sedangkan pada pemanasan selama 90 menit terjadi dari 50°C ke 60°C dengan kenaikan masing-masing sebesar 6,41 kV; 7,53 kV; 8,36 kV.

Pada 20% campuran minyak zaitun, kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit masing-masing adalah sebesar 3,94 kV; 4,10 kV; 3,14 kV. Pada pemanasan selama 30 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 60°C ke 70°C, begitu pula dengan lama pemanasan 60 menit sedangkan pada pemanasan selama 90 menit terjadi dari 50°C ke 60°C dengan kenaikan masing-masing sebesar 6,81 kV; 8,9 kV; 6,65 kV.

Pada 25% campuran minyak zaitun, kenaikan rata-rata tegangan tembus pada pemanasan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit masing-masing adalah sebesar 4,50 kV; 5,66 kV; 5,04 kV. Pada pemanasan selama 30 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 50°C ke 60°C sebesar 6,16 kV, pemanasan selama 60 menit kenaikan tertinggi terjadi dari suhu 60°C ke 70°C sebesar 5,8 kV, sedangkan pada pemanasan selama 90 menit dari suhu 50°C ke 60°C sebesar 6,06 kV.

Dapat kita simpulkan semakin naik suhu pemanasan, maka tegangan tembusnya semakin naik pula. Baik itu pada minyak zaitun dengan presentase 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Kenaikan terjadi dari suhu 50°C sampai 80°C, pada suhu pemanasan 90°C selama 90 menit, kenaikan tegangan tembus minyak terhenti. Namun akibat ditambahakannya campuran minyak zaitun kedalam minyak kelapa tegangan tembusnya dari suhu 80 ke 90°C dapat stabil. Semakin banyak campuran minyak zaitun, tegangan tembusnya juga semakin naik. Begitu pula dengan semakin lama minyak dipanaskan, tegangan tembusnya juga mengalami kenaiakan, tapi tidak pada suhu pemanasan 90°C. Kenaikan tingkat presentase campuran minyak zaitun, suhu

pemanasan dan lama pemanasan, diiringi dengan kenaikan tegangan tembus diakibatkan karena asam lemak jenuh dan kadar air pada minyak kelapa telah berkurang. Hal ini akan dibuktikan di sub bab selanjutnya.

Fenomena yang muncul di dalam pengujian elektroda standart dapat diamati dalam Gambar 4.22, dijelaskan bahwa sebelum pengujian minyak didalam elektroda standart tampak bersih dan belum terjadi kontaminan yang merusak pada minyak. Sehingga minyak dapat digunakan di dalam pengujian (seperti pada Gambar 4.22a). Setelah dilakukan pengujian tegangan tembus maka didalam minyak akan tampak hitam dikarenakan tegangan yang telah diberikan telah merusak struktur didalam minyak sehingga minyak yang telah digunakan untuk pengujian tegangan tembus tidak bisa digunakan lagi untuk pengujian.

a) Sebelum Pengujian b) Sesudah Pengujian

Gambar 4.22 Kondisi pengujian minyak 90°C

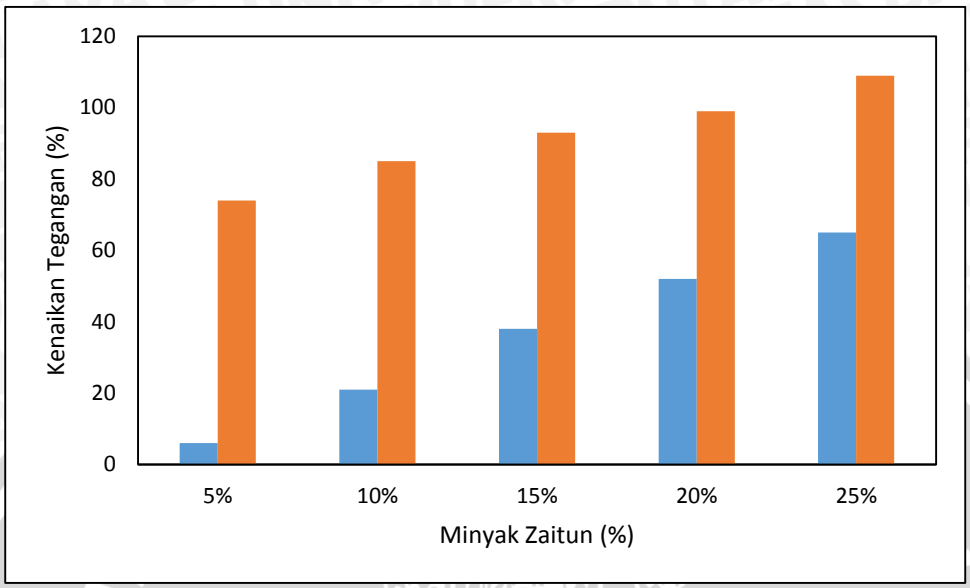
4.5 Rekapitulasi Presentase Perbandingan Tegangan Tembus Rata- rata Minyak Kelapa dengan Berbagai Cara Terhadap Minyak Kelapa Murni.

Tabel 4.20 Perbandingan Kenaikan Tegangan Tembus dengan Hanya Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan dengan Menggunakan Campuran Minyak Zaitun serta Pemanasan

Minyak Zaitun	Tegangan Tembus Terhadap Minyak Kelapa Murni	
	Hanya Menggunakan Campuran Minyak Zaitun	Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan
5%	6%	74%
10%	21%	85%
15%	38%	93%
20%	52%	99%
25%	65%	109%

Sumber: Hasil Pengujian

Untuk melihat karakteristik dari Tabel 4.20, dilihat pada tampilan grafik pada Gambar 4.23



Gambar 4.23 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus dengan hanya menggunakan campuran minyak zaitun dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan

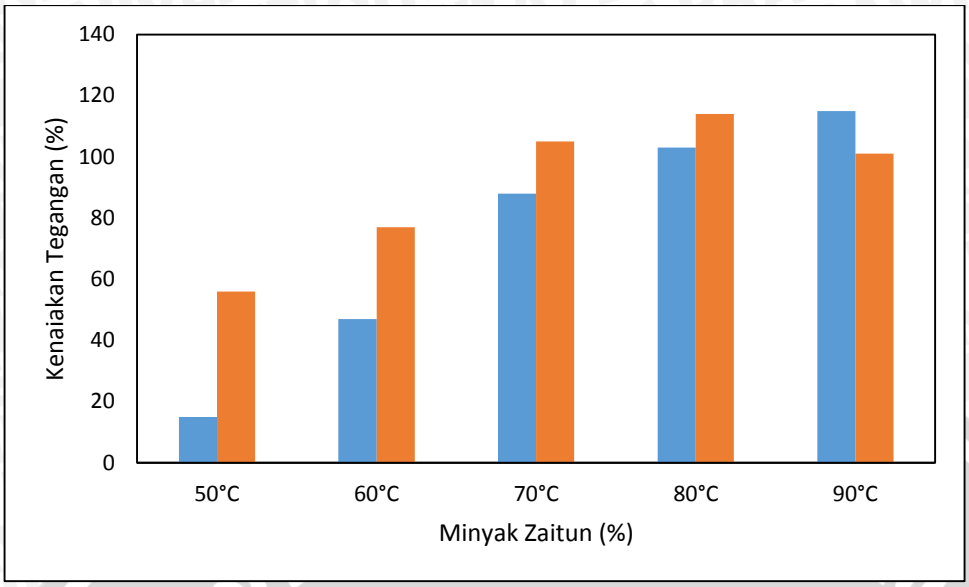
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.21 Perbandingan Kenaikan Tegangan Tembus dengan Hanya Menggunakan Pemanasan dan dengan Menggunakan Campuran Minyak Zaitun serta Pemanasan

Suhu	Tegangan Tembus Terhadap Minyak Kelapa Murni	
	Hanya dengan Pemanasan	Menggunakan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan
50°C	15%	56%
60°C	47%	77%
70°C	88%	105%
80°C	103%	114%
90°C	115%	101%

Sumber: Hasil Pengujian

Untuk melihat karakteristik dari Tabel 4.21, dilihat pada tampilan grafik pada Gambar 4.24



Gambar 4.24 Grafik presentase kenaikan tegangan tembus dengan hanya menggunakan pemanasan dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan

Sumber: Hasil Penelitian

Dari data diatas didapatkan presentase kenaikan tegangan tembus jika hanya menggunakan cara mencampurkan minyak zaitun (Tabel 4.20) adalah sebesar 6%- 65%. Jika hanya menggunakan cara pemanasan (Tabel 4. 21) didapatkan presentase kenaikan tegangan tembus sebesar 15%- 115%. Dapat kita lihat bahwa pengaruh pemanasan lebih besar dari pada penambahan minyak zaitun terhadap tegangan tembus. Namun ketika dua cara tersebut digabungkan, perbandingan presentase kenaikan tegangan tembus antara cara pecampuran minyak zaitun saja dengan menggunakan campuran minyak zaitun dan pemanasan (Tabel 4.20) lebih tinggi dan stabil jika dibandingkan perbandingan presentase kenaikan tegangan tembus antara cara pemanasan saja dengan menggunakan campuran minyak zaitun dan pemanasan (Tabel 4.21).

Kemungkinan sementara adalah bahwa proses produksi berpengaruh terhadap kualitas minyak goreng kelapa tersebut, mengingat minyak yang digunakan pada pengujian merupakan produksi rumahan dan selanjutnya juga berpengaruh terhadap tingkat kegagalan atau tegangan tembusnya. Kualitas dalam hal ini tidak lain adalah menyangkut kebersihan (penyaringan/ fraksinasi ganda), sedikit kandungan impuriti (termasuk lemaknya dan tentunya layak untuk diteliti lebih lanjut.

4.6 Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun, Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan serta Minyak Trafo

Berikut adalah tabel dan grafik perbandingan tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun, minyak kelapa dengan Pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan serta minyak trafo. Data minyak yang ditampilkan dibawah ini adalah rata-rata semua sampel minyak yang diuji. Tabel akan dibagi berdasarkan dengan dan tanpa pemanasan.

Tabel 4.22 Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Minyak Trafo tanpa Pemanasan

Minyak Kelapa Murni	Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun	Minyak trafo
23,47 Kv	31,99 kV	18,52 kV

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.23 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 30 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan	Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan	Minyak Trafo tanpa Pemanasan
50	25,80	35,32	24,15
60	32,24	39,52	32,20
70	41,49	46,08	36,87
80	42,43	49,86	41,33
90	48,47	47,95	47,19

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.24 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 60 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan	Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan	Minyak Trafo
50	28,87	36,01	26,03
60	34,45	40,71	34,90
70	45,86	48,64	38,02
80	46,91	50,49	42,48
90	51,15	48,02	48,18

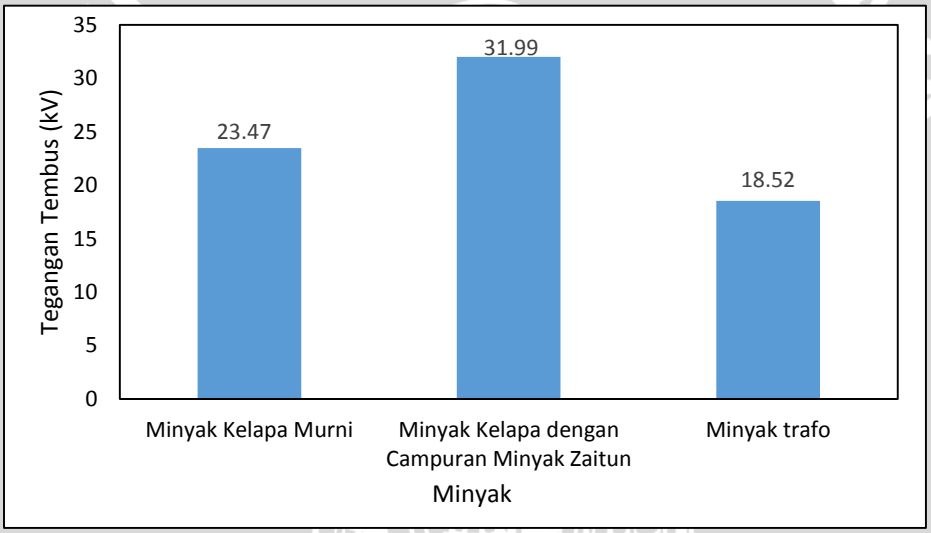
Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.25 Tegangan Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan, Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan dan Minyak Trafo dengan Pemanasan Selama 90 Menit

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)		
	Tembus Minyak Kelapa dengan Pemanasan	Minyak Kelapa dengan Campuran Minyak Zaitun dan Pemanasan	Minyak Trafo
50	28,33	38,20	28,98
60	36,64	44,40	36,57
70	43,21	49,73	40,48
80	53,21	50,07	44,23
90	53,18	46,75	49,02

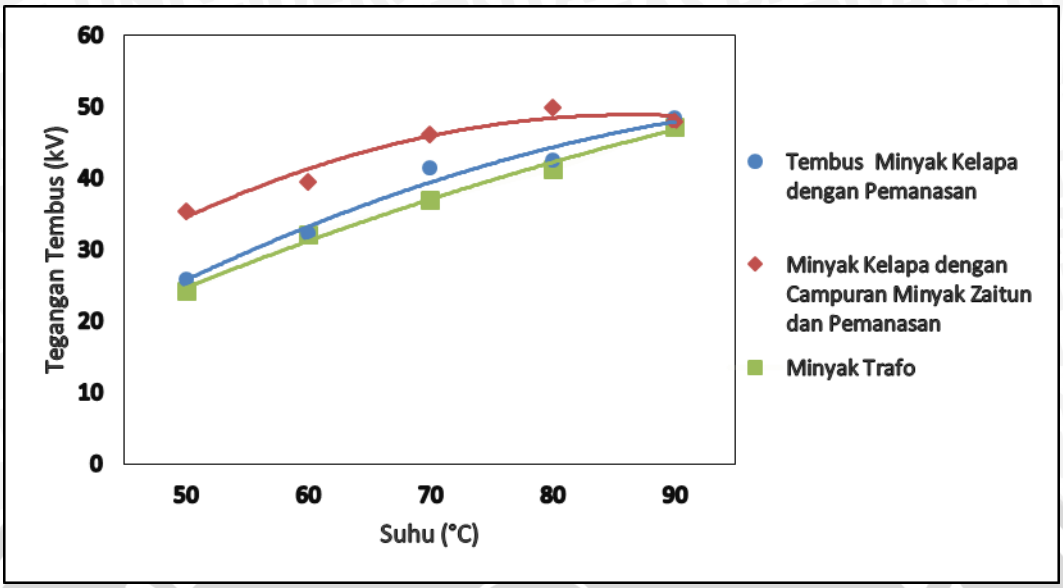
Sumber: Hasil Pengujian

Untuk melihat karakteristik dari Tabel 4.21-4.24, dilihat pada tampilan grafik pada Gambar 4.25 - 4.28



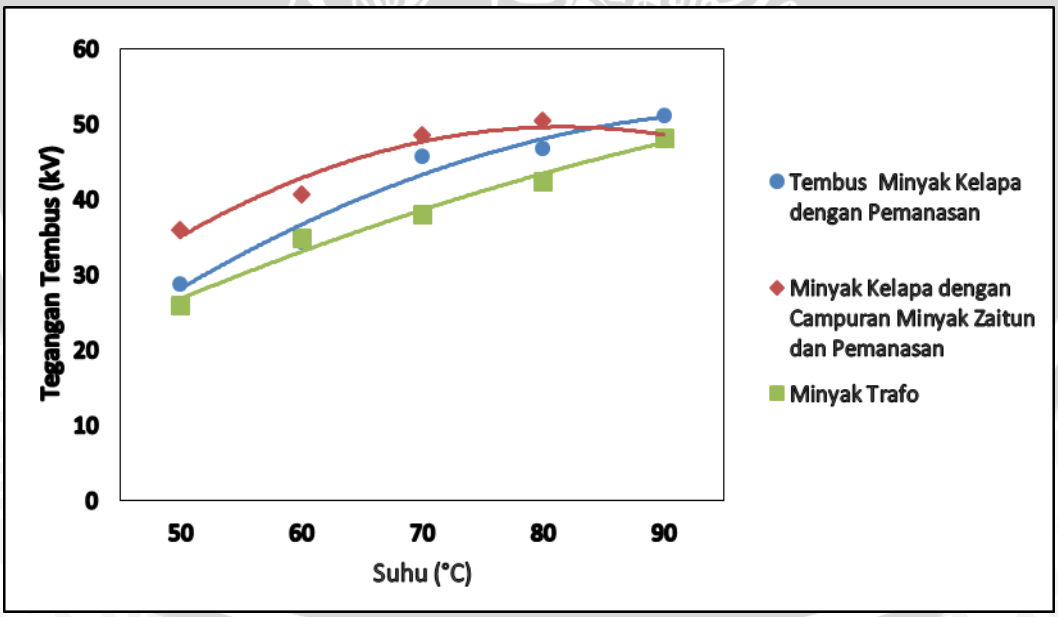
Gambar 4.25 Tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan minyak trafo tanpa pemanasan

Sumber: Hasil Pengujian



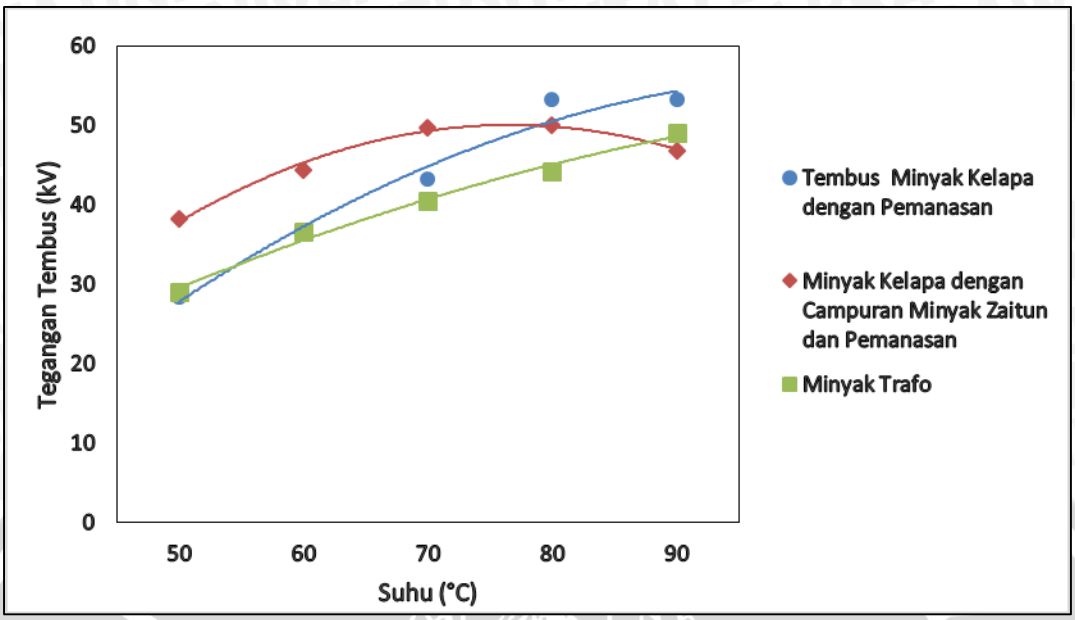
Gambar 4.26 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo dengan pemanasan selama 30 menit

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.27 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo dengan pemanasan selama 60 menit

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.28 Tegangan tembus minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan dan minyak trafo dengan pemanasan selama 90 Menit

Sumber: Hasil Pengujian

Dari Tabel (4.22 s/d 4.25) serta Gambar (4.25 s/d 4.28) diatas terlihat bahwa tegangan tembus minyak kelapa murni, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun, minyak kelapa dengan pemanasan, minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun tidak kalah dengan minyak trafo. Secara umum tegangan tegangan tembus minyak kelapa yang diolah baik dengan pencampuran minyak zaitun dan pemanasan berbagai suhu lebih tinggi jika dibandingkan dengan minyak trafo. Tetapi jika dilihat dari grafik Gambar (4.25 s/d 4.28) tegangan tembus dari minyak trafo lebih stabil mengalami kenaikan tegagan tembus. Tegangan tembus minnyak trafo menurun diatas suhu 100°C. Minyak trafo memiliki titik nyala pada suhu 154°C, pada suhu diatas 100°C struktur kimia minyak trafo sudah mengalami perubahan sehinga kekuatan dielektrik atau tegangan tembusnya menurun. Tidak seperti minyak kelapa dengan pemanasan 90°C, tegangan tembusnya turun pada suhu tersebut.

4.7 Analisis Pengaruh Kandungan Lemak terhadap Tegangan Tembus Minyak Kelapa

Pengujian ini awalnya dimaksudkan sebagai keingintahuan tentang pengaruh kendungan lemak pada minyak goreng terhadap tegangan tembusnya. Sebagaimana diketahui, minyak goreng mengandung lemak (jenuh dan tak jenuh). Pada umumnya lemak jenuh akan berbentuk semi padat pada suhu kamar (<27°C). Seperti yang sudah dijelaskan di bab 2, bahwa kandungan lemak tertinggi di minyak kelapa adalah lemak jenuh (asam lemak jenuh) bila dibadingkan dengan lemak takjenuhnya, yaitu dengan lemak jenuhya sebesar 91% dan lemak takjenuhnya 9%. Sedangkan pada minyak zaitun kandungan asam lemak tak jenunhnya lebih tinggi dibandingkan asam lemak jenuhnya, yaitu asam lemak takjenuh 84, 2% dan asam lemak jenuh 15, 8%. Tujuan dari pengujian pencampuran minyak zaitun diharapkan asam lemak jenuh dari minyak kelapa dapat menurun. Hal ini terbukti berkurang asam lemak jenuhnya. Analisis asam lemak jenuh sederhana menggunakan rumus pencampuran dapat kita gunakan sebagai berikut:

Rumus pencampuran: $M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$ ..... (4 - 1)

Keterangan :

M_Z = Kandungan asam lemak jenuh minyak zaitun (%)

M_K = Kandungan asam lemak jenuh minyak kelapa (%)

M_C = Kandungan asam lemak jenuh campuran (%)

V_Z = Volume minyak zaitun (ml)

V_K = Volume minyak kelapa (ml)

V_C = Volume campuran (ml)

Dari rumus pencampuran diatas, yang kita cari dan analisis adalah kandungan asam lemak campuran. Kandungan asam lemak campuran ini lah yang terkandung pada minyak kelapa untuk kita uji tegangan tembusnya.

- Campuran 5% minyak zaitun

$$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$$

$$0{,}158 \,.\, 12{,}5\ ml + 0{,}91 \,.\, 237{,}5\ ml = M.250\ ml$$

$$1{,}975 + 216{,}125 = 250\ M$$

$$M = \frac{218,1}{250}$$

$$M = 0,8724$$

$$M = 87,24\ \%$$

- Campuran 10% minyak zaitun

$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$

$0,158\ .\ 25\ ml + 0,91\ .\ 225\ ml = M.\ 250\ ml$

$$3,95 + 204,75 = 250\ M$$

$$M = \frac{208,7}{250}$$

$$M = 0,8348$$

$$M = 83,48\ \%$$

- Campuran 15% minyak zaitun

$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$

$0,158\ .\ 37,5\ ml + 0,91\ .\ 212,5\ ml = M.\ 250\ ml$

$$5,9255 + 193,375 = 250\ M$$

$$M = \frac{199,30}{250}$$

$$M = 0,7972$$

$$M = 79,72\ \%$$

- Campuran 20% minyak zaitun

$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$

$0,158\ .\ 50\ ml + 0,91\ .\ 200\ ml = M.\ 250\ ml$

$$7,9 + 182 = 250\ M$$

$$M = \frac{189,9}{250}$$

$$M = 0,7596$$

$$M = 75,96\ \%$$

- Campuran 25% minyak zaitun

$M_Z V_Z + M_K V_K = M_C V_C$

$0,158\ .\ 62,5\ ml + 0,91\ .\ 187,5\ ml = M.\ 250\ ml$

$$9,875 + 170,625 = 250\,M$$

$$M = \frac{180,5}{250}$$

$$M = 0,722$$

$$M = 72,2\,\%$$

Dari hitungan analisis sederhana diatas, dapat kita simpulkan semakin banyak campuran minyak zaitun, maka kadar asam lemak jenuh semakin berkurang. Semula sebelum dicampur minyak zaitun kadar asam lemak jenuh adalah sebesar 91%, namun setelah dicampur minyak zaitun, kadar asam lemak jenuh berkurang 3,76% setiap penambahannya menjadi 87,24% pada campuran 5% minyak zaitun. Pada pencampuran 25% minyak zaitun kadar asam lemak jenuh menjadi 72,2%. Sedangkan berdasarkan data hasil pengujian Tabel 4.2, semakin banyak campuran minyak zaitun, maka tegangan tembusnya semakin naik juga.

Dari hasil pengujian dan analisis sederhana ini dapat diambil kesimpulan, bahwa kandungan lemak jenuh sangat berpengaruh terhadap tingkat kegagalan atau tegangan tembus minyak. Hal ini disebabkan makin banyak kadungan asam lemak jenuh, maka semakin sedikit atau pendek ikatan karbonnya, yang ditandai dengan semakin mudahnya proses pembekuan.

4.8 Analisis Kandungan Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Kelapa

Kadar air sangatlah berpengaruh terhadap tingkat kegagalan atau tegangan tembus dari suatu isolasi cair. Sedikit saja terdapat air atau gelembung, maka dapat menurunkan tegangan tembus, seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 mengenai kegagalan isolasi. Pada pegujian ini, dilakukan pengecekan kadar air dari beberapa sampel yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanasan dan penambahan minyak zaitun terhadap kadar air. Dari data Tabel 4.26 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan dan lama pemanasan, maka kadar airnya semakin berkurang. Sedangkan pengaruh penambahan minyak zaitun hanya berpengaruh sedikit.

Yang semula kadar air kelapa murni (tanpa pemanasan dan pencampuran minyak zaitun) kadar air nya sebesar 2697 ppm, ketika ditambah minyak zaitun, kadar airnya tidak berkurang dan tidak bertambah, melainkan tetap, namun ketika dipanaskan pada suhu 50°C selama 30 menit dan 90 menit kadar air menjadi masing- masing sebesar 1967 ppm dan 1762 ppm. Kadar air tersebut berkurang sebanyak 730 ppm pada 30 menit dan 935 ppm. Ketika dipanaskan pada

suhu 90°C selama 30 menit dan 90 menit kadar air menjadi masing-masing sebesar 784 ppm dan 586 ppm. Berkurangnya kadar air tertinggi terjadi pada 25% minyak zaitun yang dipanaskan pada suhu 90°C selama 90 menit yaitu sebesar 361 ppm.

Tetapi jika kita lihat hasil pengujian tegangan tembus, pada 25% minyak zaitun yang dipanaskan pada suhu 90°C selama 90 menit tegangan tembusnya malah turun, ini disebabkan karena struktur kimia minyak telah rusak karena pemaparan tegangan tinggi yang berulang kali dilakukan. Jika dilihat hasil penurunan kadar air sebesar 361 ppm, ini belum cukup untuk memenuhi standar kadar air. Kadar air maksimum yang diperbolehkan menurut JIS 2320 (*Japanese Industrial Standrad*) adalah 50 ppm, sedangkan menurut standard BS 148: 1972 kandungan air maksimal adalah sebesar 35 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa jika dilihat kadungan air nya, maka minyak kelapa yang telah diolah masih belum bisa menggantikan minyak trafo sebagai minyak isolasi yang telah jelas kandunngan kadar airnya pasti jauh lebih sedikit. Tapi terlepas dari itu, minyak kelapa yang telah diinovasi atau telah diolah telah mampu menjadi minyak isolasi bagi peralatan listrik yang sesuai tegangan kerja. Data hasil pengujian kadar air dapat dilihat di Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Kadar Air

Sampel Minyak	Berat sampel minyak awal (gr)	air yang hilang (gr)	air yang hilang (%)	Kadar air (ppm)
Murni	2,5585	0,0069	0,2697	2697
5%MZ, tanpa pemanasan	2,5584	0,0069	0,2697	2697
25%MZ,tanpa pemanasan	2,5583	0,0065	0,2541	2541
50°C (30 menit)	2,5423	0,0050	0,1967	1967
50°C (90 menit)	2,5533	0,0045	0,1762	1762
90°C (30 menit)	2,5508	0,0020	0,0784	784
90°C (90 menit)	2,5605	0,0015	0,0586	586
5%MZ, 50°C, 30 Menit	2,5235	0,0041	0,1625	1625
25%, 50°C, 30 Menit	2,5739	0,0040	0,1554	1554
5%MZ, 50°C, 90 Menit	2,5621	0,0033	0,1288	1288
25%, 50°C, 90 Menit	2,5508	0,0031	0,1215	1215
5%MZ, 80°C, 30 Menit	2,5545	0,0025	0,0979	979
25%MZ, 80°C, 30 Menit	2,5621	0,00245	0,0956	956
5%MZ, 80°C, 90 Menit	2,5537	0,0014	0,0548	548
25%, 80°C, 90 Menit	2,5674	0,00135	0,0526	526
5%MZ, 90°C, 30 Menit	2,5537	0,0025	0,0979	979
25%MZ, 90°C, 30 Menit	2,5932	0,0024	0,0925	925
5%MZ, 90°C, 90 Menit	2,5533	0,0009	0,0352	352
25%, 90°C, 90 Menit	2,6543	0,00084	0,0316	361

Sumber: Hasil Pengujia
MZ: Minyak Zaitun

4.9 Analisis Selang Waktu Kenaikan dan Penurunan Suhu Minyak.

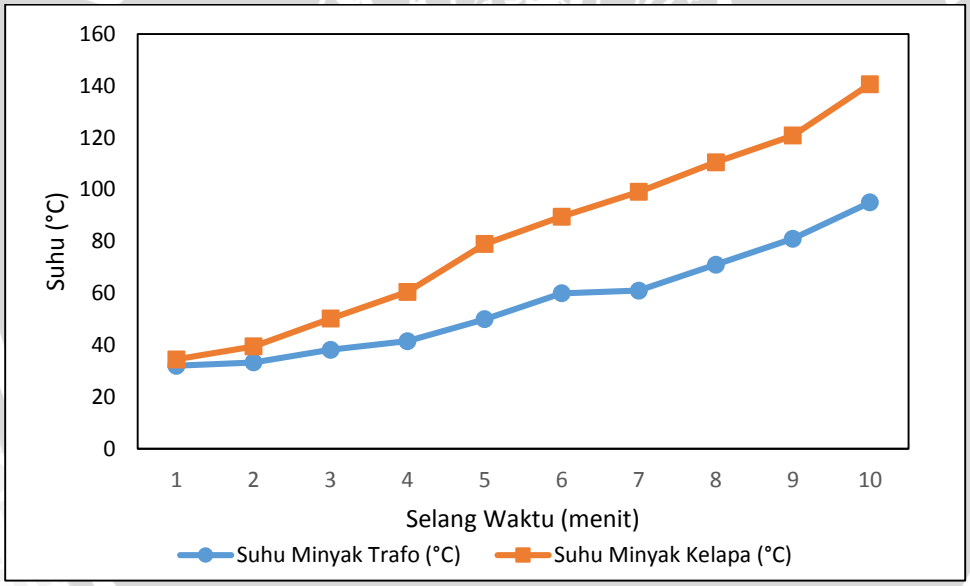
Untuk mnegetahui tentang bagaimana penerimaan dan pelepasan panas dari beberapa minyak, dilakukan pemanasan dan pendinginan minyak kelapa dan minyak trafo. Selama proses pemanasan sebanyak 250 ml (memakai *Hotplate Magnetic Stirer*), setiap selang waktu satu menit dilakukan pengukuran suhu yang dicapai menggunakan thermometer.

Tabel 4.27 Proses Pemanasan Suhu Minyak Mulai 28°C

Selang Waktu (menit)	Suhu Minyak Trafo (°C)	Suhu Minyak Kelapa (°C)
1	32,0	34,5
2	33,3	39,5
3	38,2	50,2
4	41,5	60,5
5	50,0	79,0
6	60,0	89,5
7	61,0	99,1
8	71,0	110,5
9	81,0	120,8
10	95,0	140,6

Sumber: Hasil Pengujian

Untuk melihat karakteristik dari Tabel 4.27, dilihat pada tampilan grafik pada Gambar 4.28



Gambar 4.29 Grafik proses pemanasan minyak kelapa dan minyak trafo
Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan uji-coba selang waktu terhadap proses pemanasan suhu minyak sebagaimana ditampilkan pada tabel 4. 27 diatas diperoleh gambaran, bahwa minyak kelapa lebih cepat menerima panas. Berasal dari suhu minyak 28°C untuk mencapai suhu 100°C dengan volume 250 ml dengan suhu ruang 26°C, minyak trafo membutuhkan waktu 10 menit 32 detik, sedangkan minyak kelapa hanya membutuhkan 7 menit 54 detik, dengan demikian terhadap

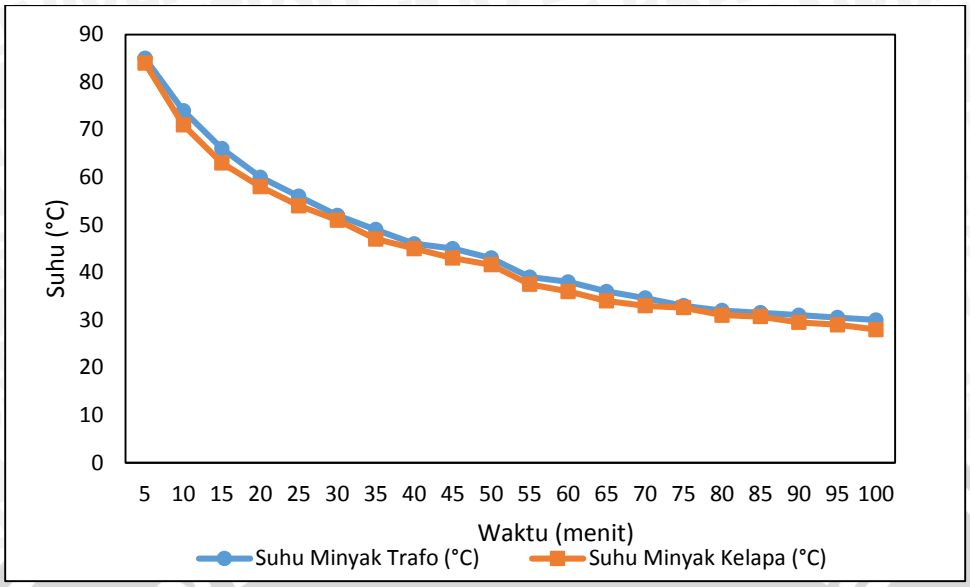
besar sumber panas yang sama minyak trafo lebih dapat meredam panas dibandingkan minyak kelapa. Atau denngan kata lain minyak kelapa yang sering kita gunakan sebagai minyak goreng lebih cepat menerima panas yang berarti kapasitas panas jenisnya lebih rendah dari minyak trafo. Sehingga sebagai fungsi pendinginan trafo, minyak trafo lebih baik dibandingkan minyak kelapa.

Demikian juga pada proses pendinginan (alami), dimana minyak sebayak 250 ml dipanaskan selama 10 menit dan mencapai suhu yang tertera di Tabel 4. 28, kemudian selama proses pendingian secara alami setiap selang lima menit dilakukan pengukuran suhunya.

Tabel 4.28 Proses Pendinginan

Selang Waktu (menit)	Suhu Minyak Trafo (°C)	Suhu Minyak Kelapa (°C)
5	85,0	84,0
10	74,0	71,0
15	66,0	63,0
20	60,0	58,0
25	56,0	54,0
30	52,0	51,0
35	49,0	47,0
40	46,0	45,0
45	45,0	43,0
50	43,0	41,6
55	39,0	37,5
60	38,0	36,0
65	36,0	34,0
70	34,6	33,0
75	33,0	32,6
80	32,0	31,0
85	31,5	30,7
90	31,0	29,5
95	30,5	29,0
100	30,0	28,0

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.30 Grafik proses pendinginan minyak kelapa dan minyak trafo
Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan uji-coba selang waktu terhadap proses pendinginan suhu minyak, diperoleh gambaran bahwa sifat pelepasan panas minyak kelapa sedikit lebih besar dibadingkan dengan minyak trafo, dapat dikatakan tidak jauh beda (setara). Sehingga dengan demikian sifat pelepasan panas minynak kelapa dan minyak trafo tidak beda jauh.

4.10 Analisis Kelayakan Minyak Kelapa yang Telah Diolah sebagai Alternatif Isolasi Cair

Berdasarkan hasil pengujian kondisi standar (menurut IEC 156) yang dilakukan pada minyak kelapa murni didapatkan nilai tegangan tembus 23,47 kV pada jarak sela 2,5 mm. Hal ini masih jauh dengan nilai standar yang ditetapkan oleh IEC 156 maupun SPLN 49-1. Berdasarkan IEC 156, nilai tegangan tembusyang harus dipenunhi oleh minyak jika ingin digunakan sebahai isolasi cair minyak trafo harus berkisar 30 kV sampai 50 kV. Jika dilihat dari tegangan tembusnya, maka minyak kelapa murni dapat digunaka sebagai alternative isolasi cair untuk peralatan listrik dengan tegangan kerja 2,4 kV, berdasarkan standarisasi NESC (National Electrical Safety Code) tahun 2007. Maka dari itu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap minyak kelapa, yaitu minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun, minyak kelapa dengan pemanasan serta minyak kelapa dengan campuran minyak zaitun dan pemanasan. Dari hasil pengujian yang ada tegangan kerja meningkat menjadi 13,5 kV. Dengan demikian, minyak kelapa yang telah diuji pada pengujian dapat bekerja pada perlatan listrik dengan level tegangan kerja 0,75 kV - 13,2 kV.

Table 273-1—Insulation level requirements

Nominal voltage (between phases) (kV)	Rated dry flashover voltage of insulators ① (kV)	Nominal voltage (between phases) (kV)	Rated dry flashover voltage of insulators ① (kV)
0.75	5	115	315
2.4	20	138	390
6.9	39	161	445
13.2	55	230	640
23.0	75	345	830
34.5	100	500	965
46	125	765	1145
69	175		

①Interpolate for intermediate values.

Gambar 4.31 Tabel level isolasi peralatan listrik
Sumber: IEEE C2, National Electrical Safety Code (2007: 214)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil penelitian dan analisis karakteristik isolasi minyak kelapa, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1 (a). Penambahan minyak zaitun tanpa pemanasan ke dalam minyak kelapa sebagai campuran meningkatkan tegangan tembus minnyak kelapa. Peningkatan penam232bahan minyak zaitun sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% akan meningkatkan tegangan tembus berturut-turut menjadi 24,83 kV; 28,33 kV; 32,44 kV; 35,65 kV dan 38,73 kV atau mengalami kenaikan berturut-turut sebesar 6%, 21%, 38%, 52% dan 65% .

(b). Semakin besar persentase minyak zaitun, maka kadar asam lemak jenuh dari minyak kelapa juga berkurang. Kadar asam lemak jenuh minyak kelapa murni yang semula 91%, dengan ditambahkan minyak zaitun kadar asam lemak jenuh berkurang sebesar 3, 76% setiap kenaikan 5% minyak zaitun. Hal ini berdampak pada kenaikan nilai tegangan tembus pada minyak kelapa.

(c). Penambahan minyak zaitun sebesar 5% pada kadar air minyak kelapa murni tidak mempengaruhi secara signifikan. Penambahan 25% minyak zaitun, kadar air berkurang sebesar 156 ppm menjadi 2541 ppm. Ini masih sangat jauh jika dibandingkan dengan standar maks kadar air yang diizinkn sebesar 50 - 75 ppm.

2 (a). Suhu dan lama pemanasan minyak tanpa campuran minyak zaitun mempengaruhi tegangan tembus. Pada suhu 50°C sampai 90°C dengan lama pemanasan 30 menit, nilai tegangan tembus terus naik sebesar 25,8 kV; 32,4 kV; 41,9 kV; 42,3 kV dan 48, 7 kV. Pada lama pemanasan 60 menit, nilai tegangan tembus terus naik sebesar 26,87 kV; 34,45 kV; 45, 86 kV; 46,91 kV dan 51,15 kV. Pada lama pemanasan 90 menit tegangan tembus nya terus naik, namun pada pemaasan suhu 90°C nilai tegangan tembusnya malah berkurang. Tegangan tembus mengalami kenaikan sampai 127% dari tegangan tembus minyak kelapa tanpa pemanasan.

(b). Semakin lama waktu pemanasan dan semakin tingi suhu pemanasan minyaknya, maka kadar airnyna semakin berkurang. Semula kadar air kelapa murni (tanpa

penambahan zaitun dan tanpa pemanasan) kadar airnya sebesar 2697 ppm, ketika dipanaskan kadar air berkurang menjadi 361 ppm.

3 Perbandingan kenaikan tegangan tembus terhadap kelapa murni dengan hanya menggunakan campuran minyak zaitun dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan pada suhu yang sama pada campuran minyak zaitun sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 20% adalah sebesar 1: 12; 1:4; 1: 3; 1:2 dan 1:2 dengan kenaikan tegangan tembus menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan sebesar 74%, 85%, 93%, 99% dan 109%. Sedangkan perbandingan kenaikan tegangan tembus terhadap kelapa murni dengan hanya menggunakan pemanasan dan dengan menggunakan campuran minyak zaitun serta pemanasan pada persentase minyak zaitun dari 5%- 25% yang dirata- rata adalah pada suhu pemanasan 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C adalah sebesar 1: 3,7; 1: 1,6; 1: 1,2; 1: 1,1. Pada suhu 90°C tegangan tembus rata-rata mengalami penurunan sebesar 14%

4 Ditinjau dari tingkat tegangan tembusnya minyak trafo dengan minyak kelapa baik yang murni dan sudah diolah tidak jauh bebeda. Minyak kelapa yang sudah diolah layak dijadikan bahan isolasi cair jika dilihat dari kekuatan dielektriknnya. Namun dari hasil perngujian proses pemanasan minyak, minyak kelapa membutuhkan waktu 2 menit 22 detik lebih cepat dibandingkan minyak trafo untuk mencapai suhu 100 °C dari suhu 28°C, berarti kapasitas panas jenis minyak goreng kelapa lebih rendah sehingga untuk itu perlu dilakukan usaha kimia- fisik untuk mempertinggi kapasitas panas jenis minyak goreng kelapa agar bersifat lebih baik dalam menjalankan fungsinnya sebagai pendingin pada trafo.

5 Minyak kelapa yang telah diuji pada pengujian dapat bekerja pada perlatan listrik dengan level tegangan kerja 0,75 kV - 13,2 kV.

5.2 Saran

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

1. Perlunya pengujian lebih lanjut, untuk dilakukan pencampuran minyak nabati yang kadar asam lemak tak jenuh nya paling tinggi seperti minyak biji bunga matahari pada minyak kelapa dan sawit (yang kadar asam lemak jenuhnya cukup tinggi) lainnya dengan

mempertimbangkan vikositas, rugi-rugi dielektrik, konduktivitas, dan arus bocorpenggunaan minyak nabati di dalam isolasi cair

DAFTAR PUSTAKA

Abderrazzaq, M.H., Hijazi, F. 2012. *Impact of Multi-Filtration Process on the Properties of Olive Oil as a Liquid Dielectric*. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol 19 (5): 1673-1680

Abeysundara, D.C., Lucas, J.R., Weerakoon, C., Gunatunga, K.A.I. 2001. *Coconut Oil Insulated Distribution Transformer*. Jurnal pada *8th Annual Conference of the IEE*.Sri Lanka, 22 September 2001.

Anonim. 2006. *Teknologi Proses Pengolahan Minyak Kelapa*: MAPI.pdfbit.com/pr/produksi-minyak kelapa-pdf.html. (diakses 8 Oktober 2015)

Arismunadar, A. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta Timur: Ghalia Indonesia.

Baroroh, Umi L. U. 2004. *Diktat Kimia Dasar 1*. Universitas Lampung Mangkurat: Banjar Baru

Bharat, Heavy. 1987. *Transformer*. Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

Dhofir, Moch. 2000. *Gejala Medan Tinggi*. Malang: Penerbit Teknik Elektro UB

IEEE C2. 2007. *National Electrical Safety Code*. Washington DC: Jefferson Country Public Library.

Khan, M.A.G., Hossain, M.K., Arosh, M. H. 2013. *Experimental Study of Breakdownn Voltage for Different Type Vegetable Oils in Bangladesh*. Jurnal dalam International Conference on Electrical Information and Communication Technology, IEEE.

Kind, Dieter. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB Bandung.

Matharage, B. S. H. M. S. Y., Fernando, M. A. R. M., Bandara, M. A. A. P., Jayantha, G. A., Kalpage, C.S. 2013. *Performance of Coconut Oil As An Alternative Transformer Liquid Insulation*. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol 20 (3): 887-898

SPLN 49- 1. 1982. *Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak Isolasi*. Jakarta: LMK

Muhaimin. 1999. *Bahan-bahan Listrik Untuk Politeknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

PT. PLN. 2003. *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat.

Rahardjo, Amienn. 2005. *Potensi Minyak Kelapa Goreng Kelapa Sawit Sebagai Bahan Isolasi Cair*. Jurnal Teknologi No 2 Tahun XIX Juni 2005.

Sukmadi, Bambang. 1999. *Teknologi Fermentasi Pembuatan Minyak Kelapa*. Makalah dalam Pelatihan Manajemen Produksi dan Teknologi Fermentasi untuk Pembuatan Minyak

Kelapa Bagi Pondok Pesantren di Propinsi Lampung. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Jakarta. Natar, 19-21 Oktober 1999.

Setiabudy, Rudy. 2007. *Material Teknik Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia

Tobing L, Bonggas. 2012. *Dasar- Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Penerbit Erlangga

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

Data Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni

No	Minyak Kelapa (ml)	Tegangan Tembus (kV)	Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
1	250	19.36	23.47
		23.2	
		27.86	
2	275	20.04	23.53
		24.56	
		25.98	
3	300	21.41	24.10
		24.67	
		26.23	
4	325	21.43	24.05
		24.15	
		26.56	
5	350	22.78	24.27
		24.68	
		25.34	

Data Tegangan Tembus denga n Penambahan Minyak Zaitun tanpa Pemanasan

NO	Minyak Zaitun (%)	Tegangan Tembus (kV)	Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
1	5%	24.76	26.16
		25.87	
		27.86	
2	10%	26.87	28.33
		28.24	
		29.88	
3	15%	30.56	32.44
		32.65	
		34.12	
4	20%	33.78	35.65
		35.98	
		37.19	
5	25%	37.89	38.73
		39.87	
		38.44	

Data Tegangan Tembus dengan Pemanasan tanpa Campuran Minyak Zaitun

No	Lama Pemanasan	Tegangan Tembus (Kv)				
		50°	60°	70°	80°	90°
1	30 menit	24.23	30.23	39.54	41.55	46.67
		25.15	32.34	41.27	40.76	48.09
		28.03	34.15	43.66	44.98	50.66
	rata-rata:	**25.80**	**32.24**	**41.49**	**42.43**	**48.47**
2	60 menit	26.15	33.17	41.45	45.56	50.13
		26.89	34.65	46.78	47.13	51.87
		27.56	35.54	49.34	48.04	51.45
	rata-rata:	**26.87**	**34.45**	**45.86**	**46.91**	**51.15**
3	90 menit	27.86	35.67	42.63	50.08	52.54
		28.15	36.35	41.86	54.67	51.65
		28.97	37.89	45.13	54.78	51.35
	rata-rata:	**28.33**	**36.64**	**43.21**	**53.18**	**51.85**

Data Tegangan Tembus dengan Penambahan Minyak Zaitun dan Pemanasan

NO	SUHU (^{O})	TEGANGAN TEMBUS (kV)														
			30 MENIT					60 MENIT					90 MENIT				
			5%	10%	15%	20%	25%	5%	10%	15%	20%	25%	5%	10%	15%	20%	25%
1	50		27.22	31.39	34.65	36.67	38.34	28.88	31.76	35.89	37.14	40.25	29.04	34.06	37.77	40.45	41.13
			28.83	32.66	36.58	37.89	39.09	29.34	33.33	37.91	36.87	42.35	30.63	35.76	37.64	42.57	44.43
			30.39	33.79	39.13	40.45	42.66	30.32	34.13	38.09	42.54	41.34	31.38	36.44	43.23	42.23	46.25
		Tegangan tembus Rata-rata	**28.81**	**32.61**	**36.79**	**38.34**	**40.03**	**29.51**	**33.07**	**37.30**	**38.85**	**41.31**	**30.35**	**35.42**	**39.55**	**41.75**	**43.94**
2	60		31.56	36.78	36.66	37.55	44.31	32.67	37.87	39.88	40.00	45.09	34.67	37.44	45.67	46.45	50.12
			33.32	38.33	40.08	40.56	46.98	34.87	38.54	41.24	42.25	47.58	35.48	40.09	47.89	47.76	49.56
			36.65	37.89	41.35	43.55	47.29	37.66	38.34	41.35	44.67	48.65	38.33	41.12	50.18	51	50.32
		Tegangan tembus Rata-rata	**33.84**	**37.67**	**39.36**	**40.55**	**46.19**	**35.07**	**38.25**	**40.82**	**42.31**	**47.11**	**36.16**	**39.55**	**47.91**	**48.40**	**50.00**
3	70		40.32	40.87	42.63	44.76	50.02	41.32	44.67	43.22	47.66	50.35	43.56	45.64	47.75	50.23	51
			43.44	46.54	45.92	47.77	49.68	43.42	47.46	48.65	54.72	53.13	45.33	48.34	50.43	51.54	54.33
			42.68	46.77	48.76	49.55	51.45	45.87	50.31	53.18	51.26	54.42	45.76	50.45	51.55	53.43	56.71
		Tegangan tembus Rata-rata	**42.15**	**44.73**	**45.77**	**47.36**	**50.38**	**43.54**	**47.48**	**48.35**	**51.21**	**52.63**	**44.88**	**48.14**	**49.91**	**51.73**	**54.01**
4	80		45.57	47.32	47.44	48.09	52.65	46.13	49.04	49.77	50.77	52	44.68	48.6	48.56	51.22	51.48
			46.24	49.54	49.67	50.35	53.88	47.99	49.76	50.07	51.65	52.34	48.87	50.65	52.43	51.75	50.56
			50.12	50.05	50.85	52.01	54.05	51.04	50.1	52.42	51.06	53.19	50.95	49.72	49.55	50.32	51.69
		Tegangan tembus Rata-rata	**47.31**	**48.97**	**49.32**	**50.15**	**53.53**	**48.39**	**49.63**	**50.75**	**51.16**	**52.51**	**48.17**	**49.66**	**50.18**	**51.10**	**51.24**
5	90		45.53	46.82	46.98	46.88	49.02	46.34	46.69	47.81	47.45	47.68	46.85	46.8	46.07	47.11	46.29
			47.00	47.66	47.87	47.78	49.27	45.67	47.63	47.9	46.73	48.32	45.91	45.24	47.78	46.45	47.98
			48.34	48.32	48.59	49.07	50.13	46.09	46.24	46.05	47.86	48.06	45.35	46.53	47.51	47.85	47.55
		Tegangan tembus Rata-rata	**46.96**	**47.60**	**47.81**	**47.91**	**49.47**	**46.03**	**46.85**	**47.25**	**47.35**	**48.02**	**46.04**	**46.19**	**47.12**	**47.14**	**47.27**

S

LAMPIRAN II

Data Pengujian Kadar Air

Sampel Minyak	Berat sampel minyak awal (gr)	air yang hilang (gr)	air yang hilang (%)	Kadar air (ppm)
Murni	2,5585	0,0069	0,2697	2697
5%MZ, tanpa pemanasan	2,5584	0,0069	0,2697	2697
25%MZ,tanpa pemanasan	2,5583	0,0065	0,2541	2541
50°C (30 menit)	2,5423	0,0050	0,1967	1967
50°C (90 menit)	2,5533	0,0045	0,1762	1762
90°C (30 menit)	2,5508	0,0020	0,0784	784
90°C (90 menit)	2,5605	0,0015	0,0586	586
5%MZ, 50°C, 30 Menit	2,5235	0,0041	0,1625	1625
25%, 50°C, 30 Menit	2,5739	0,0040	0,1554	1554
5%MZ, 50°C, 90 Menit	2,5621	0,0033	0,1288	1288
25%, 50°C, 90 Menit	2,5508	0,0031	0,1215	1215
5%MZ, 80°C, 30 Menit	2,5545	0,0025	0,0979	979
25%MZ, 80°C, 30 Menit	2,5621	0,00245	0,0956	956
5%MZ, 80°C, 90 Menit	2,5537	0,0014	0,0548	548
25%, 80°C, 90 Menit	2,5674	0,00135	0,0526	526
5%MZ, 90°C, 30 Menit	2,5537	0,0025	0,0979	979
25%MZ, 90°C, 30 Menit	2,5932	0,0024	0,0925	925
5%MZ, 90°C, 90 Menit	2,5533	0,0009	0,0352	352
25%, 90°C, 90 Menit	2,6543	0,00084	0,0316	361

LAMPIRAN III

Foto Pengujian

Gambar 1. Objek Uji Minyak Kelapa Murni

Gambar 2. Objek Uji Minyak Kelapa yang Telah di Campur Minyak Zaitun

Gambar 3. Gelas uji untuk pengujian tegangan tembus tampak depan pada elektroda standart

Gambar 4. Gelas uji untuk pengujian tegangan tembus tampak atas pada elektroda standart

Gambar 5. Alat ukur tegangan tinggi AC dan DC pada *control desk*

Gambar 6. Proses pemanasan menggunakan oven listrik

Gambar 7. Rangakaian Pengujian Tegangan Tembus

Gambar 8. Objek Uji setelah pengujian