

**PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS
MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL**



AZELI PUTERI

5115136228

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Kependidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**


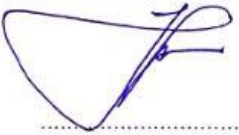



2017

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK
TRANSFORMATOR JENIS MINERAL

AZELIA PUTERI / 5115136228

PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr. Muhammad Rif'an, M.T (Ketua Penguji)		03/01/2018
Masuss Subekti, S.Pd, M.T (Sekretaris)		28/12/2017
Moh. Djaohar, M.Sc (Dosen Ahli)		29/12/2017
Drs. Ir. Parjiman, M.T (Dosen Pembimbing I)		03/01/2018
Aris Sunawar, S.Pd, M.T (Dosen Pembimbing II)		31/01/2018

Tanggal Lulus : 13 Desember 2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebut nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 14 Desember 2017

Yang membuat pernyataan



Azelia Puteri
5115136228

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan pertolongan, rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL”. Dalam pembuatan skripsi ini tidak terlepas dari adanya tantangan, halangan dan rintangan yang datang silih berganti. Hari demi hari dilewati dengan perjuangan, pengorbanan, keluh kesah, kesedihan dan kebahagiaan agar skripsi ini bisa terselesaikan di waktu yang tepat untuk mendapatkan gelar sarjana.

Pembuatan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan pihak lain. Dari mulai proses awal perencanaan, penelitian, serta penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dorongan semangat serta doa dari orang-orang yang ada disekitar. Pada kesempatan kali ini, izinkan saya untuk mengucapkan terimakasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam kelancaram dan kemudahan untuk penyelesaian skripsi ini, diantaranya :

1. Bapak Masuss Subekti, S.Pd, M.T selaku Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektro.
2. Bapak Drs. Ir. Parjiman, M.T selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Aris Sunawar, S.Pd, M.T selaku Dosen Pembimbing II
4. Keluarga saya tercinta yakni kedua orang tua saya Bapak Nazril Dt. Pdk. Rajo dan Ibu Nelly, adik saya Tasya Kurnia Putri dan Tante Merry yang tiada henti mendoakan, menyemangati dan mendukung saya baik moril maupun materil.

5. Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro UNJ 2013 yang bersama-sama berjuang dari awal masuk di kampus ini.
6. Teman-teman terdekat saya selama berkuliah di Teknik Elektro yaitu Novia Fidianti, Lestari Nurreta, Luthfiah Mamluatul I., Nabila Dwi Asty dan Gina Aini R. yang selama masa semester akhir ini selalu mendukung, mendoakan dan menyemangati saya dari mulai proses penelitian skripsi dan pengambilan data hingga menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih untuk kalian yang sudah mau menyediakan waktu untuk mendengarkan keluh kesah, curhatan, dan cerita sedih maupun bahagia saya, terimakasih juga atas atas saran dan masukannya.
7. Teman-teman terdekat saya sewaktu SD, SMP dan SMA yang juga membantu mendoakan dan menyemangati saya.
8. Kepada Pak Jefri, Pak Adi, Mbak Ani, Pak Ade Suhada, Pak Ade Soebandi, Pak Boy, Mas Faldi dan Pak Nur yang telah membantu penulis dalam proses penelitian skripsi dari mulai mempersiapkan alat dan bahan dan pengambilan data di laboratorium.
9. Seluruh pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian serta dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis, Desember 2017

Azelia Puteri
5115136228

ABSTRAK

Azelia Puteri. PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL. Pembimbing Drs. Ir. Parjiman, M.T dan Aris Sunawar, S.Pd, M.T.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh perubahan suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator ketika terjadi pemanasan pada minyak transformator jenis mineral.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Subjek penelitian yang akan diteliti adalah minyak transformator jenis mineral dalam keadaan baru yaitu minyak transformator merek Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra serta minyak transformator dalam keadaan bekas pakai yaitu minyak transformator merek Shell Diala B. Pada pengumpulan data, dilakukan pengambilan sampel minyak transformator kemudian dilakukan pemanasan pada minyak transformator pada suhu 40°C - 70°C pada setiap sampel dilakukan sebanyak tiga kali pengujian dan melakukan pengujian dengan alat Megger OTS 100AF untuk menguji tegangan tembusnya, hasil pengujian sampel minyak transformator yang didapat lalu dianalisis tegangan tembus pada masing-masing sampel setiap merek minyak transformator.

Dari hasil pengujian diperoleh minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I, pada suhu 28°C (belum mengalami pemanasan), suhu 40°C - 70°C nilai tegangan tembusnya adalah sebesar 55,4 kV, 58,6 kV, 62,9 kV, 65,5 kV dan 68,6 kV sedangkan nilai kadar airnya adalah sebesar 27,9 ppm, 25,45 ppm, 23,15 ppm, 21,45 ppm dan 18,5 ppm. Kemudian minyak transformator Nynas Nitro Libra, pada suhu 28°C (belum mengalami pemanasan), suhu 40°C - 70°C nilai tegangan tembusnya adalah sebesar 53,1 kV, 54,8 kV, 58,3 kV, 61,1 kV dan 65,7 kV sedangkan nilai kadar airnya adalah sebesar 28,95 ppm, 27,8 ppm, 27,05 ppm, 25,7 ppm dan 24,4 ppm. Dan untuk minyak transformator Shell Diala B, pada suhu 28°C (belum mengalami pemanasan), suhu 40°C - 70°C nilai tegangan tembusnya adalah sebesar 14,3 kV, 19,3 kV, 20,5 kV, 30 kV dan 51,3 kV sedangkan nilai kadar airnya adalah sebesar 44,2 ppm, 40,5 ppm, 38,28 ppm, 32,5 ppm dan 22,25 ppm. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan pada ketiga merek minyak transformator menunjukkan bahwa ada pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator ketika minyak transformator mengalami pemanasan. Pengaruhnya adalah, semakin panas suhu minyak transformator maka nilai tegangan tembusnya mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya kadar air ketika minyak transformator dipanaskan. Berkurangnya kadar air menyebabkan terjadinya peningkatan nilai tegangan tembus minyak transformator.

Kata kunci : Minyak Transformator, Tegangan Tembus, Perubahan Suhu

ABSTRACT

Azelia Puteri. THE EFFECT OF TEMPERATURE TO MINERAL TRANSFORMER OIL BREAKDOWN VOLTAGE. Supervisor Drs. Ir. Parjiman, M.T dan Aris Sunawar, S.Pd, M.T.

The purpose of this research is to find out if there is any effect of temperature to the value of transformer oil breakdown voltage when mineral transformer oil's temperature heating up.

The method that used in this research is an experimental method. The subject of this research that will be studied are new transformer oil Shell Diala S4 ZX-I and Nynas Nitro Libra and outworn transformer oil Shell Diala B. For data collection, samples of transformer oil were taken and then heating up the transformer oil on temperature 40°C - 70°C on each sample with three tests were performed and then do the test of transformer oil breakdown voltage with Megger OTS 100 AF, last is analyze the result of transformer oil breakdown voltage on each sampel of the three brands of transformer oil.

The results of this test, Shell Diala S4 ZX-I at temperature 28°C (before transformer oil heating up) and temperature 40°C - 70°C, transformer oil breakdown voltages are 55,4 kV, 58,6 kV, 62,9 kV, 65,5 kV and 68,6 kV while the water content of transformer oil are 27,9 ppm, 25,45 ppm, 23,15 ppm, 21,45 ppm and 18,5 ppm. For Nynas Nytro Libra, at temperature 28°C (before transformer oil heating up) and temperature 40°C - 70°C, transformer oil breakdown voltages are 53,1 kV, 54,8 kV, 58,3 kV, 61,1 kV and 65,7 kV while the water content of transformer oil are 28,95 ppm, 27,8 ppm, 27,05 ppm, 25,7 ppm and 24,4 ppm. For Shell Diala B, at temperature 28°C (before transformer oil heating up) and temperature 40°C - 70°C, transformer oil breakdown voltages are 14,3 kV, 19,3 kV, 20,5 kV, 30 kV and 51,3 kV while the water content of transformer oil are 44,2 ppm, 40,5 ppm, 38,28 ppm, 32,5 ppm and 22,25 ppm. Based on the data, we can concluded that three brands of transformer oil showing that there is effect of temperature to transformer oil breakdown voltage. The effect is, when the temperature of transformer oil is rising, breakdown voltage of transformer oil is rising as well. This is caused by reducing water content when transformer oil's temperature rising. By reducing water content this cause breakdown voltage of transformer oil rise.

Keywords : Transformer Oil, Breakdown Voltage, Temperature Changes

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	6
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Rumusan Masalah	7
1.5. Tujuan Penelitian	7
1.6. Kegunaan Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1. Landasan Teori	9
2.1.1. Transformator Daya	9
2.1.2. Bagian-bagian transformator	10
2.1.3. Bahan Isolasi (Penyekat)	16
2.1.4. Bahan Isolasi Cair	18
2.1.5. Teori Kegagalan Bahan Isolasi Cair	19
2.1.6. Minyak Transformator	21
2.1.6.1. Bahan Dasar Pembuatan Minyak Transformator	23
2.1.6.2. Jenis-Jenis Minyak Isolasi	25
2.1.6.3. Persyaratan Minyak Sebagai Isolasi	27
2.1.6.4. Pemurnian dan Perawatan Minyak Transformator	30
2.1.7. Tegangan Tembus Minyak Transformator	32
2.1.8. Perubahan Suhu Terhadap Minyak Transformator	34

2.2.	Penelitian Yang Relevan	36
2.3.	Kerangka Berpikir	38
2.4.	Hipotesis Penelitian.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		40
3.1.	Tempat, waktu, subjek penelitian	40
3.2.	Populasi dan Sampel.....	40
3.2.1.	Populasi.....	40
3.2.2.	Sampel	40
3.3.	Variabel Penelitian	41
3.4.	Metode dan Rancangan Penelitian	42
3.4.1.	Metode Penelitian.....	42
3.4.2.	Rancangan Penelitian	43
3.5.	Instrumen Penelitian.....	45
3.5.1.	Alat dan Bahan Penelitian	45
3.5.2.	Gambar Rangkaian Pengujian.....	50
3.5.3.	Prosedur Pengujian.....	52
3.5.4.	Lembar Pengujian	55
3.6.	Teknik Pengumpulan Data.....	60
3.7.	Teknik Analisis Data.....	61
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		62
4.1.	Hasil Penelitian	62
4.1.1.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator.....	63
4.1.2.	Data Hasil Pengujian Kadar Air pada Minyak Transformator.....	67
4.1.3.	Data Perbandingan Jumlah Kadar Air dan Nilai Tegangan Tembus pada Minyak Transformator	68
4.2.	Analisis Data Hasil Pengujian.....	69
4.2.1.	Analisis Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)	69
4.2.2.	Analisis Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak	

	Transformator Nynas Nitro Libra (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)	70
4.2.3.	Analisis Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala B (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)	72
4.2.4.	Analisis Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra Dan Shell Diala B	74
4.2.5.	Analisis Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra	77
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1.	Kesimpulan	83
5.2.	Saran	84
	DAFTAR PUSTAKA	86
	LAMPIRAN - LAMPIRAN	88

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Prinsip Kerja Transformator.....	10
Gambar 2.2. Inti Besi Transformator	10
Gambar 2.3. Kumparan atau Belitan Transformator.....	11
Gambar 2.4. Bushing	11
Gambar 2.5. Minyak Transformator	12
Gambar 2.6. Tangki Konservator.....	12
Gambar 2.7. <i>Silica Gel</i>	13
Gambar 2.8. Indikator Temperatur Minyak dan Belitan.....	16
Gambar 2.9. Struktur Kimia Senyawa Parafin Hidrokarbon	24
Gambar 2.10. Struktur Kimia Senyawa Napthena Hidrokarbon.....	24
Gambar 2.11. Struktur Kimia Senyawa Aromatik Hidrokarbon.....	25
Gambar 3.1. Diagram Eksperimen.....	42
Gambar 3.2. Diagram Alur Penelitian.....	43
Gambar 3.3. Diagram Alur Pengujian.....	44
Gambar 3.4. Alat Penguji Tegangan Tembus Megger OTS 100 AF.....	45
Gambar 3.5. <i>Karl Fischer Coulometer</i>	46
Gambar 3.6. Oven Pemanas	46
Gambar 3.7. Botol Schott Duran 500 ml.....	47
Gambar 3.8. <i>Syringe</i>	47
Gambar 3.9. <i>Infrared Thermometer</i>	48
Gambar 3.10. Minyak Transformator	48
Gambar 3.11. Rangkaian Ekuivalen Pengujian Tegangan Tembus.....	50
Gambar 3.12. Rangkaian Ekuivalen Oven (<i>Heater</i>).....	51

Gambar 3.12.	Rangkaian Ekuivalen Pengujian Kadar Air	51
Gambar 4.1.	Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I pada Pengujian Pertama sampai Pengujian Ketiga.....	69
Gambar 4.2.	Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Nynas Nitro Libra pada Pengujian Pertama sampai Pengujian Ketiga.....	70
Gambar 4.3.	Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala B pada Pengujian Pertama sampai Pengujain Ketiga.....	72
Gambar 4.4.	Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B.....	74
Gambar 4.5.	Kurva Nilai Kadar Air terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro dan Shell Diala B.....	77
Gambar 4.6.	Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I.....	78
Gambar 4.7.	Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynas Nitro Libra	78
Gambar 4.8.	Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala B.....	79

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1.	Tipe Pendinginan Transformator	14
Tabel 2.2.	Jenis Isolasi Minyak Transformator.....	27
Tabel 3.1.	Standar Minyak Transformator Baru IEC 60296.....	49
Tabel 3.2.	Standar Minyak Transformator Pakai IEC 60422.....	49
Tabel 3.3.	Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4-ZX-i.....	49
Tabel 3.4.	Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynas Nitro Libra.....	50
Tabel 3.5.	Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala B	50
Tabel 3.6.	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Pada Suhu Ruangan 28°C.....	55
Tabel 3.7.	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I dalam Keadaan Baru	56
Tabel 3.8.	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynas Nitro dalam Keadaan Baru	57
Tabel 3.9.	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala B dalam Keadaan Bekas Pakai.....	58
Tabel 3.10.	Data Pengujian Kadar Air Minyak Transformator	59
Tabel 3.11.	Data Perbandingan Nilai Tegangan Tembus dan Kadar Air Minyak Transformator	60

Tabel 4.1.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Pada Suhu Ruangan 28°C.....	63
Tabel 4.2.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I dalam Keadaan Baru	64
Tabel 4.3.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynas Nitro dalam Keadaan Baru	65
Tabel 4.4.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala B dalam Keadaan Bekas Pakai.....	66
Tabel 4.5.	Data Hasil Pengujian Kadar Air Minyak Transformator	67
Tabel 4.6.	Data Perbandingan Nilai Tegangan Tembus dan Kadar Air Minyak Transformator	68

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Sheet Alat Pengujian Tegangan Tembus (<i>BDV Test</i>) Megger OTS 100AF dan Alat Pengujian Kadar Air KF <i>Titrimo Coulometer</i>	89
Lampiran 2. Data Sheet Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B	94
Lampiran 3. Hasil Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator.....	101
Lampiran 4. Hasil Data Pengujian Kadar Air Minyak Transformator.....	109
Lampiran 5. Dokumentasi.....	111
Lampiran 6. Surat – Surat	118

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di dalam sistem tenaga listrik, salah satu alat yang memegang peranan paling penting adalah transformator. Transformator merupakan alat elektromagnetik yang sederhana, andal dan efisien untuk mengubah tegangan AC dari satu tingkat ke tingkatan yang lain (Kadir, 2010: 1). Transformator berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya serta digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Penyaluran daya listrik dimulai dari pembangkit hingga ke konsumen sangat bergantung pada efektifitas kinerja transformator. Keadaan transformator yang selalu beroperasi secara terus menerus serta dalam kondisi apapun tersebut memungkinkan transformator mengalami gangguan. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada transformator adalah panas yang diakibatkan naik turunnya beban transformator. Transformator mempunyai harga yang sangat mahal sehingga dilakukanlah usaha-usaha untuk mencegah agar tidak terjadinya kerusakan pada transformator. Oleh karena itu harus dilakukan pemeliharaan pada transformator dengan sebaik mungkin dan salah satu cara pemeliharaannya adalah dengan menggunakan sistem isolasi yang baik dan tepat.

Sistem isolasi adalah gabungan dari beberapa bahan isolasi yang digunakan pada suatu peralatan listrik (Tobing, 2012: 23). Menurut modul pembelajaran Ilmu Bahan Listrik untuk SMK yang diterbitkan oleh Departemen Pendidikan Nasional

(2003) bahan isolasi adalah bahan yang digunakan sebagai penyekat yang bertujuan untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan pada suatu peralatan listrik. Untuk bahan isolasi ini perlu diperhatikan sifat-sifat dari bahan tersebut yaitu sifat listrik, sifat mekanis, sifat termal, dan lain-lain. Ada tiga bentuk bahan isolasi yaitu padat, cair, dan gas.

Pada transformator salah satu bahan isolasi yang dipakai adalah bahan isolasi cair yaitu minyak transformator. Selain berfungsi sebagai bahan dielektrik atau penyekat, minyak transformator juga berfungsi sebagai pendingin yang menyebarkan panas pada belitan-belitan transformator (Sitompul dan Syahrawaradi, 2016). Berdasarkan bahan pembuatannya, minyak isolasi terbagi atas dua jenis yaitu minyak mineral yang berasal dari olahan minyak bumi dan minyak nabati atau minyak organik yang berasal dari minyak tumbuh-tumbuhan. Sampai saat ini, minyak isolasi mineral adalah yang paling sering digunakan sebagai bahan isolasi dan media pendingin pada peralatan listrik terutama pada transformator. Minyak transformator jenis mineral sering digunakan karena harganya yang relatif murah dan juga memiliki sifat dielektrik dan media pendingin yang sangat baik (Abeyesundara, dkk., 2001). Salah satu parameter yang paling penting untuk mengetahui karakteristik minyak transformator tersebut dalam kondisi baik atau buruk adalah nilai tegangan tembusnya.

Tegangan pada elektroda yang menyebabkan bahan isolasi tembus listrik disebut dengan tegangan tembus yang didefinisikan sebagai nilai tegangan yang menimbulkan kuat medan listrik pada bahan isolasi sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektrik bahan isolasi tersebut (Tobing, 2012: 27-28). Tegangan tembus adalah nilai tegangan minimum yang mengakibatkan isolasi

mengalami kegagalan (*breakdown*). Menurut SPLN 49-1 (1982) tertulis bahwa besarnya nilai tegangan tembus minyak isolasi transformator adalah sebesar 30 kV/2,5 mm. Apabila setelah pengujian tegangan tembus diketahui bahwa nilai tegangan tembusnya dibawah 30 kV, maka minyak isolasi tersebut mengalami pemburukan. Minyak transformator yang memiliki nilai tegangan tembus yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak transformator. Hal yg bisa mempengaruhi nilai tegangan tembus minyak isolasi transformator adalah yang pertama adalah kandungan air. Semakin banyaknya kandungan air dalam pada minyak transformator akan menurunkan nilai tegangan tembus dan tahanan jenis minyak transformator dan juga akan mempercepat kerusakan isolasi kertas pada transformator. Yang kedua adalah viskositas atau kekentalan. Viskositas berpengaruh terhadap kemurnian isolasi cair (banyaknya kontaminan partikel padat) dan pendinginan transformator dan peralatan listrik lainnya. Jika nilai viskositas rendah, proses sirkulasi minyak transformator akan berlangsung dengan baik sehingga pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan sempurna. Yang ketiga adalah timbulnya gas-gas terlarut pada minyak isolasi. Timbulnya gas-gas terlarut akan merubah rantai hidrokarbon minyak transformator, terutama adanya karbon dioksida (CO₂) dan karbon monoksida (CO) yang akan menunjukkan terjadinya kegagalan pada minyak transformator. Yang terakhir dan yang paling mempengaruhi karakteristik minyak transformator yakni nilai tegangan tembusnya adalah perubahan suhu pada minyak transformator. Peralatan-peralatan listrik seperti transformator akan mengalami perubahan suhu selama beroperasi baik pada kondisi kerja normal maupun pada kondisi mengalirkan arus lebih. Arus listrik yang mengalir pada suatu

peralatan listrik juga menimbulkan panas sehingga sistem isolasinya mengalami pemanasan (Tobing, 2012: 24). Ketika transformator mengalami perubahan atau peningkatan suhu maka minyak transformator juga mengalami pemanasan.

Jurnal pertama ditulis oleh Wahyu Kunto mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro pada tahun 2008, ia melakukan pengujian karakteristik *breakdown voltage* pada minyak Shell Diala B dengan perubahan suhu 30°C - 130°C dan perbedaan jarak sela elektroda. Setelah minyak transformator dipanaskan langsung diuji tegangan tembusnya. Kemudian jurnal kedua Alfian Junaidi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Tridharma tahun 2008, ia melakukan pengujian pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan tembus minyak pelumas jenis Mesran Super SAE 40 kemudian dibandingkan dengan minyak isoalsi Shell Diala B. Perubahan suhu dilakukan pada kedua minyak tersebut mulai dari suhu kamar hingga 100°C. Jurnal ketiga yang ditulis oleh Abdul Rajab, Aminuddin Sulaeman dan Sudaryanto Sudirham, Fakultas Teknik Elektro dan Informatika dan Aminuddin Sulaeman, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB yang meneliti tentang perbandingan sifat dielektrik minyak kelapa sebagai alternatif untuk minyak isolasi dan minyak isolasi mineral. Pada salah satu penelitiannya ia menguji tegangan tembus minyak kelapa dan minyak isolasi mineral pada variasi suhu yang berbeda dan meningkat yakni dari suhu 20°C hingga suhu 120°C.

Pada paparan jurnal diatas, dua penelitian lebih menekankan menguji minyak yang bukan umumnya dipakai pada transformator yang ada di sistem tenaga listrik. Sementara itu satu penelitian menggunakan jenis minyak yang umumnya dipakai pada transformator yaitu minyak Shell diala B. Hasil penelitian dari ketiga

jurnal tersebut terlihat bahwa ada pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan tembus masing-masing jenis minyak, namun ditemukan perbedaan pengaruh kenaikan suhu terhadap tegangan tembus minyak. Pada jurnal pertama dan kedua, hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu mengakibatkan tegangan tembus pada minyak cenderung semakin tinggi. Pada jurnal ketiga, hasil penelitiannya adalah tegangan tembus semakin tinggi ketika suhu meningkat dari 20°C sampai 70°C. Pada suhu 70°C sampai dengan suhu 90°C, nilai tegangan tembus cenderung stabil, namun ketika suhu 100°C sampai dengan suhu 120°C nilai tegangan tembusnya semakin kecil.

Pada skripsi ini melakukan penelitian tentang pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator jenis mineral. Perbedaan yang menjadi keunggulan dari skripsi ini adalah penggunaan minyak transformator yang dipakai untuk sampel penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu yang sudah dilakukan yakni dua merek minyak transformator dalam keadaan baru dalam drum yang baru dibuka (belum diberi *treatment*) yaitu Shell Diala S4 ZX-I serta Nynas Nitro Libra dan satu merek minyak transformator dalam bekas pakai yang diambil dari drum penampungan minyak transformator bekas pakai yaitu minyak transformator Shell Diala B. Kemudian kelemahan skripsi ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah suhu maksimalnya lebih rendah yakni hanya 70°C karena adanya keterbatasan suhu maksimal pada alat penguji tegangan tembus.

Penelitian ini ingin mengetahui apakah dengan perubahan suhu yang terjadi pada minyak transformator membuat minyak transformator mengalami pemburukan dengan ditandai turunnya nilai tegangan tembus atau justru nilai tegangan tembus minyak transformator semakin meningkat.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut :

- 1) Apakah ada pengaruh jumlah kandungan air terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator?
- 2) Apakah ada pengaruh suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator ?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Hanya membahas mengenai pengaruh suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak isolasi transformator
2. Minyak transformator yang dipakai menjadi sampel penelitian adalah dua merek minyak transformator dalam keadaan baru diambil dari drum tempat penyimpanan dan satu merek minyak transformator bekas pakai yang diambil pada transformator yang sudah tidak dipakai lagi (sudah diganti). Minyak transformator yang dipilih yang bekas pakai karena adanya keterbatasan dalam pengambilan liter minyak untuk dijadikan sampel penelitian.
3. Karena adanya keterbatasan sumber, minyak transformator yang digunakan ada tiga merk yaitu Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra untuk minyak transformator baru serta Shell Diala B untuk minyak transformator bekas pakai. Masing-masing minyak transformator digunakan sebanyak 2,5 liter untuk sampel penelitian.
4. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada minyak isolasi.

5. Suhu minyak isolasi transformator dipanaskan mulai dari suhu 40°C - 70°C dengan setiap pengujian suhu naik +10°C. Rentang suhu pengujian ini ditentukan berdasarkan suhu normal transformator saat beroperasi untuk batas bawah suhu pengujian dan di atas suhu *setting relay temperature* transformator (50°C) dan suhu maksimal yang diizinkan pada alat pengujian tegangan tembus Megger OTS 100AF.
6. Pengujian yang dilakukan menggunakan elektroda bola-bola dan jarak sela 2,5mm sesuai standar IEC 156.
7. Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari hasil percobaan yang dilakukan di Laboratorium Kimia PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, identifikasi masalah dan batasan masalah, perumusan masalah penelitian ini adalah : “Apakah ada pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator ?”.

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, maka dapat disusun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh perubahan suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator ketika terjadi pemanasan pada minyak transformator jenis mineral.

1.6. Kegunaan Penelitian

- 1) Bila dilihat dari sudut pandang keilmuan, penelitian ini bermanfaat sebagai bahan ajar materi di perguruan tinggi, khususnya untuk mata kuliah yang berhubungan dengan Gejala Medan Tinggi, Teknik Tegangan Tinggi dan Transformator.
- 2) Bagi pekerjaan yang bersangkutan dengan transformator tenaga, agar melakukan pemeliharaan rutin terhadap minyak transformator dengan mengecek dan menjaga suhu minyak sehingga tidak mengalami peningkatan suhu diatas suhu normal transformator agar tidak mengakibatkan kerusakan pada transformator dan juga menguji minyak transformator yang dipakai dalam transformator yang sedang beroperasi secara berkala. Kemudian juga dapat mengetahui kondisi dan kualitas minyak transformator yang akan digunakan pada transformator tenaga apakah layak pakai atau tidak.

BAB II

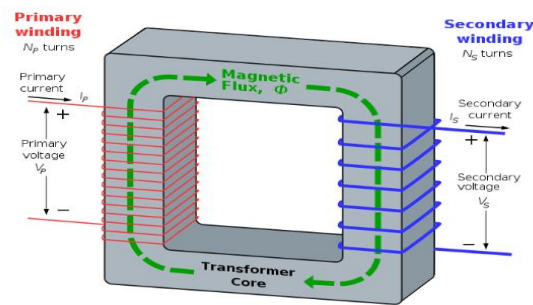
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Transformator Daya

Pada sistem tenaga listrik, salah satu alat yang paling vital adalah transformator. Transformator merupakan alat elektromagnetik yang sederhana, andal dan efisien untuk mengubah tegangan AC dari satu tingkat ke tingkatan yang lain (Kadir, 2010: 1). Transformator berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya serta digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan.

Prinsip kerja dari transformator dalam menyalurkan daya menggunakan hukum induksi faraday dan hukum lorentz, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan atau kumparan maka pada kedua ujung kumparan menghasilkan beda potensial. Inti besi transformator akan terinduksi oleh arus yang mengalir pada kumparan primer sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet dan kumparan sekunder akan terinduksi oleh flux magnet sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial (PLN, 2003 : 54).



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Transformator

(Sumber : Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga PT. PLN (Persero) P3B)

2.1.2. Bagian-Bagian Transformator

1) Inti Besi (*Electromagnetic Circuit / Core*)

Inti besi transformator sebagai media jalannya flux magnet yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada belitan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke belitan yang lain. Inti besi terbuat dari lempengan – lempengan besi tipis yang di susun sedemikian rupa. Inti besi diberi isolasi atau penyekat untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.



Gambar 2.2. Inti Besi Transformator

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

2) Kumputan Transformator (*Winding*)

Pada transformator terdapat kumputan primer dan kumputan sekunder. Kumputan atau belitan transformator terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi. Pada saat arus bolak-balik mengalir melalui kumputan transformator maka

inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik. Pada transformator dengan daya besar seperti transformator tenaga lilitan dimasukkan dalam minyak transformator sebagai media isolasi dan pendingin.



Gambar 2.3. Kumpan atau Belitan Transformator

(Sumber : <http://www.gef.com.my>)

3) *Bushing*

Bushing adalah isolator yang digunakan untuk mengisolir badan suatu peralatan dengan konduktor bertegangan tinggi yang menerobos badan peralatan tersebut (Tobing, 2012:143). *Bushing* merupakan media penghubung antara kumpan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dari *bushing* dengan tangki transformator.



Gambar 2.4. *Bushing*

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

4) Minyak Transformator

Minyak transformator memiliki fungsi sebagai penyekat dan media pendingin pada transformator. Minyak transformator mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan harus mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Kumparan-kumparan dan inti besi pada transformator tenaga yang berkapasitas besar direndam dalam minyak-transformator



Gambar 2.5. Minyak Transformator

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5) Tangki Konservator

Ketika transformator mengalami kenaikan suhu operasi, minyak transformator akan memuai sehingga volumenya bertambah. Tangki konservator berfungsi sebagai tempat penampungan ketika terjadi pemuaian minyak transformator akibat peningkatan suhu operasi transformator.



Gambar 2.6. Tangki Konservator

(Sumber: <https://khareed.pk>)

6) Alat Pernafasan (*Silica Gel*)

Silica gel adalah alat pernafasan transformator dan berbentuk tabung berisi kristal zat hygroskopis. Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan.



Gambar 2.7. Silica Gel

(Sumber : <https://www.megawatt.co.il>)

7) Tap Changer

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut “*Off Load Tap Changer*” dan hanya dapat dioperasikan manual. *Tap changer* yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator, dalam keadaan transformator berbeban disebut “*On Load Tap Changer*” dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis.

8) Sistem Pendingin

Transformator dilengkapi dengan sistem pendingin yang bertujuan untuk membantu pendinginan pada saat kondisi transformator terjadi peningkatan suhu. Sistem pendinginan ini juga membantu minyak isolasi transformator yang selain sebagai penyekat juga sebagai media pendingin apabila tidak mampu menjalankan fungsinya sebagai pendingin. Tipe pendinginan transformator ada dua yaitu secara alami dan paksaan yaitu dengan sirip-sirip transformator (riben), radiator dan bantuan motor penggerak untuk menghembuskan udara.

Tabel 2.1. Tipe Pendinginan Transformator

No.	Macam Sistem Pendinginan	Media			
		Di dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			

No.	Macam Sistem Pendinginan	Media			
		Di dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Sumber : IEC tahun 1976

Keterangan :

A = *Air* (udara)

O = *Oil* (minyak)

N = *Natural* (alamiah)

F = *Forced* (paksaan/tekanan)

9) Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut:

- Indikator level minyak

Indikator level minyak berfungsi memberikan informasi mengenai level minyak pada tangki konservator. Setelah melihat level minyak, lalu melihat temperatur minyak isolasi. Setelah melihat dua variable tersebut, dapat dilihat apakah transformator dalam keadaan baik dengan melihat grafik hubungan antara level minyak dengan temperatur minyak.

- Indikator temperatur minyak dan belitan

Indikator temperatur minyak dan belitan ini digunakan untuk mengindikasikan keadaan internal transformator. Indikator ini mengindikasikan titik terpanas pada minyak dan belitan berdasarkan tes temperatur yang dilakukan

oleh pihak pembuat transformator. Pemeliharaan yang dilakukan berupa pengecekan jarum penunjuk angka temperatur.

Pada indikator-indikator ini terdapat dua buah jarum penunjuk angka, yaitu berwarna silver dan berwarna merah. Jarum penunjuk yang berwarna merah menunjukkan set point alarm, sedangkan jarum penunjuk yang berwarna silver menunjukkan pembacaan aktual saat itu. Jarum penunjuk pada indikator temperatur biasanya mempunyai kontak elektrik untuk memicu alarm dan memicu kipas pendingin apabila temperatur minyak dan belitan dirasakan oleh sensor suhu melebihi batas sensor suhunya.



Gambar 2.8 Indikator Temperatur Minyak dan Belitan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.1.3. Bahan Isolasi (Penyekat)

Bahan penyekat atau sering disebut dengan istilah isolasi adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Sehingga untuk bahan penyekat ini perlu diperhatikan mengenai sifat-sifat dari bahan tersebut, seperti : sifat listrik, sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia, dan lain-lain. Bentuk penyekat menyerupai dengan bentuk benda pada umumnya, yaitu padat, cair, dan gas sesuai dengan kebutuhannya. (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003: 13).

a) Sifat Listrik

Yaitu suatu bahan yang mempunyai tahanan jenis listrik yang besar agar dapat mencegah terjadinya rambatan atau kebocoran arus listrik antara hantaran yang berbeda tegangan atau dengan tanah. Karena pada kenyataannya sering terjadi kebocoran, maka harus dibatasi sampai sekecil-kecilnya agar tidak melebihi batas yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku (PUIL : peraturan umum instalasi listrik).

b) Sifat Mekanis

Mengingat sangat luasnya pemakaian bahan penyekat, maka perlu dipertimbangkan kekuatannya supaya dapat dibatasi hal-hal penyebab kerusakan karena akibat salah pemakaian. Misal memerlukan bahan yang tahan terhadap tarikan, maka dipilih bahan dari kain bukan dari kertas karena kain lebih kuat daripada kertas.

c) Sifat Termis

Panas yang timbul pada bahan akibat arus listrik atau arus gaya magnet berpengaruh kepada penyekat termasuk pengaruh panas dari luar sekitarnya. Apabila panas yang terjadi cukup tinggi, maka diperlukan pemakaian penyekat yang tepat agar panas tersebut tidak merusak penyekatnya.

d) Sifat Kimia

Akibat panas yang cukup tinggi dapat mengubah susunan kimianya, begitu pula kelembaban udara atau basah disekitarnya. Apabila kelembaban dan keadaan basah tidak dapat dihindari, maka harus memilih bahan penyekat yang tahan air, termasuk juga kemungkinan adanya pengaruh zat-zat yang merusak seperti : gas, asam, garam, alkali, dan sebagainya.

2.1.4. Bahan Isolasi Cair

Cairan atau bahan bentuk cair adalah benda yang pada suhu biasa berbentuk cair. Cairan ini banyak sekali macam dan sifatnya. Umumnya tidak dalam keadaan murni, tetapi merupakan persenyawaan macam-macam unsur (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003: 25).

Isolasi cair berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar tidak terjadi percikan ataupun loncatan bunga api di antara bagian-bagian tersebut. Selain itu isolasi cair juga dapat berfungsi sebagai pendingin (*cooling*). Bahan isolasi cair digunakan pada peralatan-peralatan listrik seperti transformator, kapasitor, dan pemutus daya (*circuit breaker*).

Untuk melaksanakan tugasnya sebagai bahan isolasi maka bahan-bahan isolasi cair yang digunakan harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Beberapa alasan digunakannya bahan isolasi cair adalah sebagai berikut (Junaidi, 2008) :

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

Adapun beberapa sifat listrik yang menentukan kerja bahan isolasi cair adalah :

a) Tembus listrik (*Withstand Breakdown*)

Yaitu kemampuan untuk tidak mengalami tembus listrik dalam kondisi tekanan listrik (*electric stress*) yang tinggi.

b) Kapasitansi listrik per unit volume.

Kapasitansi listrik per unit volume menentukan permitivitas relatifnya. Pada minyak petroleum biasanya memiliki permitivitas relatif 2 sampai 2,5 sedangkan untuk minyak silikon 2 sampai 73 dan askeral 4,5 sampai 5,0.

c) Faktor disipasi ($Tg \delta$)

Faktor disipasi adalah faktor yang menentukan besarnya rugi-rugi dielektrik pada bahan isolasi yang dikenai tegangan bolak-balik (AC). Faktor disipasi merupakan parameter yang penting. Minyak transformator murni pada frekuensi 50 Hz memiliki faktor disipasi sebesar 10^{-4} pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan 10^{-3} pada $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

d) Resistivitas

Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolasi cair bila resistivitasnya lebih besar dari $10^9\ \Omega\text{-m}$. Pada sistem tegangan tinggi, resistivitas yang diperlukan untuk material isolasi adalah $10^{16}\ \Omega\text{-m}$ atau lebih.

2.1.5. Teori Kegagalan Bahan Isolasi Cair

Karakteristik pada isolasi cair akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan

gelembung gas. Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut (Arismunandar, 1982, diacu dalam Budiyanoro, 2006) :

a) Teori kegagalan elektronik

Teori ini merupakan perluasan dari teori kegagalan pada gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam dielektrik cair karena adanya banjir elektron (*electron avalanche*) pada gas. Pancaran medan elektron dari katoda di asumsikan bertabrakan dengan atom dielektrik cair. Jika energi medan yang dihasilkan dari tabrakan sudah cukup besar, sebagian elektron akan terlepas dari atom dan akan bergerak menuju anoda bersama dengan elektron bebas. Banjiran elektron ini serupa dengan peluahan yang terjadi pada gas dan peristiwa ini akan mengawali proses terjadinya kegagalan.

b) Teori kegagalan karena adanya gelembung

Yaitu ketakmurnian (misalnya gelembung udara) mempunyai tegangan gagal yang lebih rendah dari zat cair, disini adanya gelembung udara dalam cairan merupakan awal dari pencetus kegagalan total dari pada zat cair. Kegagalan gelembung merupakan bentuk kegagalan isolasi cair yang disebabkan oleh gelembung-gelembung gas didalamnya.

c) Teori kegagalan partikel padat

Partikel debu atau serat selulosa yang ada disekeliling isolasi padat (kertas) seringkali ikut tercampur dengan minyak. Selain itu partikel padat ini pun dapat terbentuk ketika terjadi pemanasan dan tegangan lebih. Pada saat terjadi medan listrik, partikel – partikel ini akan terpolarisasi dan membentuk jembatan. Arus akan mengalir melalui jembatan dan menghasilkan pemanasan lokal serta menyebabkan terjadinya kegagalan.

d) Teori kegagalan bola cair

Air dan uap air terdapat pada minyak, terutama pada minyak yang telah lama digunakan. Jika terdapat medan listrik, maka molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu dipole. Jika jumlah molekul molekul uap air ini banyak, maka akan tersusun semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda, sehingga terbentuk suatu kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai terjadi tembus listrik.

2.1.6. Minyak Transformator

Isolator merupakan suatu sifat bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat, maupun sebagai pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh korosif atau *stressing*. Pada transformator, isolator yang digunakan adalah merupakan isolator cair yakni minyak transformator.

Minyak transformator adalah hasil pemurnian minyak bumi yang diperlukan untuk pendingin. Karena transformator, tahanan pengasut, penghubung tenaga, atau yang bekerja dengan tegangan tinggi sangat membutuhkan pendinginan. Tanpa pendinginan yang baik akan merusak penyekat inti, lilitan dan bagian lain yang perlu (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003: 25). Ada tiga faktor yang mempengaruhi kestabilan struktur kimia dalam minyak transformator yaitu suhu, gelembung udara dan adanya katalis. Proses degradasi minyak transformator bisa disebabkan oleh penguraian dari molekul hidrokarbon dalam minyak pada saat suhu tinggi. Adanya gelembung udara pada minyak isolasi bisa menimbulkan kenaikan jumlah asam dan terbentuknya endapan (Crine, 1988, mengacu dalam Yuliasuti, 2010).

Menurut Marsudi (2011 : 251) fungsi yang utama dari minyak transformator adalah :

- Sebagai bahan isolasi. Tegangan tembusnya harus secara periodik diperiksa, bisa mencapai 20 kV/mm
- Sebagai media pendingin, oleh karenanya suhu harus dipantau secara kontinu dengan relai suhu, suhu minyak transformator juga harus dijaga agar tidak melewati 95°C.
- Peredam busur api melalui sifat pendingin dan isolasinya tersebut.
- Pelarut gas yang timbul khususnya gas-gas yang mudah terbakar agar tidak memasuki bagian-bagian transformator yang ada loncatan busur listriknya seperti sambungan yang longgar dan OLTC. Oleh karenanya besarnya kandungan gas dalam minyak transformator harus dipantau secara *online* dengan *dissolved gas analyzer* (DGA) dan diperhatikan tingkat kenaikannya.

Minyak transformator dalam pemakaiannya terbagi menjadi dua yakni minyak transformator dalam keadaan baru dan minyak transformator pakai atau bekas pakai. Menurut IEC 60296, minyak transformator baru (*unused mineral oils*) adalah minyak isolasi yang belum pernah digunakan dan tidak pernah kontak dengan peralatan listrik atau peralatan lain yang tidak diperlukan pada saat pembuatan, penyimpanan atau transportasi. Dan minyak tersebut harus dipastikan tidak ada kontaminasi bifenil atau trifenil poliklorinat atau kontaminan-kontaminan lainnya. Sedangkan minyak transformator pakai adalah minyak isolasi yang sedang digunakan atau dipakai pada transformator. Minyak transformator pakai ini sudah mengalami beberapa proses pada saat digunakan sebagai media isolasi dan

pendingin transformator sehingga terdapat kontaminan berupa kandungan air, partikel padat atau kontaminan lain yang terkandung dalam minyak. Menurut IEC 60422 dan SPLN 49-1 (1992) , salah satu syarat minyak isolasi transformator yang bisa dilihat langsung tanpa pengujian yaitu warna dan penampilan fisik minyak. Untuk minyak baru warna nya akan terlihat kuning terang dan jernih dan bersih sedangkan untuk minyak pakai atau yang diambil dari transformator yang sedang beroperasi, biasanya berwarna lebih gelap dan kusam serta tidak jernih.

2.1.6.1. Bahan Dasar Pembuatan Minyak Transformator

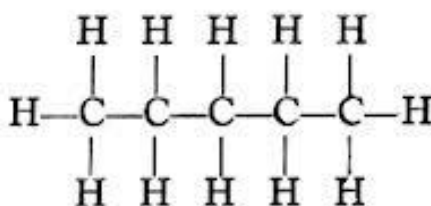
Menurut Marsudi (2011: 251) minyak transformator terbuat dari bahan kimia organik, merupakan senyawa atom-atom C dan H. Bahan dasar pembuatan minyak transformator berasal dari minyak mentah (*crude oil*). Untuk mendapatkan kualitas dielektrik yang baik maka pabrik-pabrik pembuat minyak transformator menambahkan zat-zat tertentu pada bahan tersebut.

Secara umum pembuatan transformator dimulai dari minyak mentah sampai didapat unsur yang mempunyai sifat sebagai bahan isolasi. Minyak mentah yang ditambang masih bercampur dengan air, gas dan unsur-unsur lainnya. Kandungan gas tersebut akan dibuang melalui pipa tertentu dengan jarak yang cukup aman pada pabrik pengolahannya. Sedangkan lumpur dan air tadi masih mengandung bahan padat yaitu tanah liat, pasir dan unsur-unsur lain, yang mana pemisahannya dilakukan di sekitar pemboran. Selanjutnya cairan ini disalurkan ke kilang-kilang untuk disuling dengan bahan yang dibutuhkan. Selanjutnya proses penyulingan juga akan berbeda sebagai produksi utama yang akan dihasilkan (Panggabean, 2008).

Klasifikasi hidrokarbon yang diperoleh dari minyak mentah ini dapat dibagi dalam tiga tingkatan yaitu :

- 1) Parrafin, dengan rumus kimia C_nH_{2n+2}

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

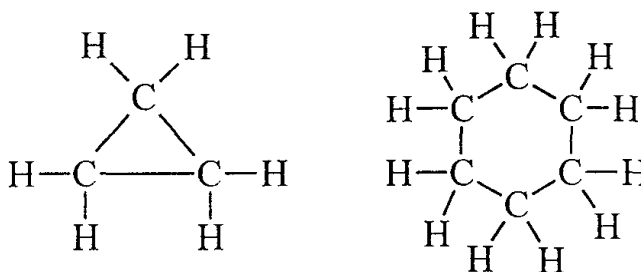


Gambar 2.9. Struktur Kimia Senyawa Parafin Hidrokarbon

(Sumber: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)

- 2) Naphtena, dengan rumus C_nH_{2n}

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



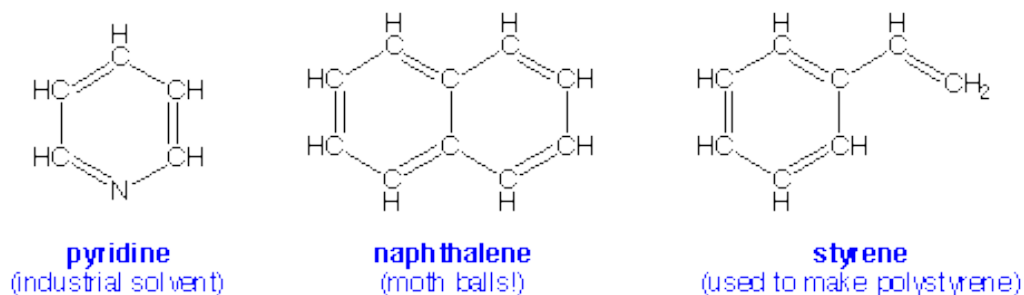
Gambar 2.10. Struktur Kimia Senyawa Naphtena Hidrokarbon

(Sumber: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)

3) Aromatik, dengan rumus C_nH_n

Senyawa ini memiliki satu atau lebih cincin aromatik yang dapat bergabung dengan cincin alisiklik. Beberapa senyawa aromatik berfungsi sebagai penghambat oksidasi (inhibitor) dan penjaga kestabilan, tetapi jika jumlahnya terlalu banyak akan bersifat merugikan yaitu berkurangnya kekuatan dielektrik, serta berkurangnya sifat pelarutan minyak terhadap isolasi padat di dalamnya.

Ketiga hidrokarbon diatas memiliki fungsi yang berbeda pada minyak mentah. Minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral yang antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2.11. Struktur Kimia Senyawa Aromatik Hidrokarbon

(Sumber: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)

2.1.6.2. Jenis – Jenis Minyak Isolasi

Sejak lama minyak telah digunakan untuk bahan isolasi atau penyekat pada kabel, transformator, dan *circuit breakers*. Minyak isolasi terbagi atas tiga jenis yaitu organik, mineral dan sintetis. Minyak isolasi organik mulai digunakan pada akhir abad ke-19, sedangkan minyak isolasi mineral diperkenalkan sekitar tahun 1910 dan mulai digunakan dengan pengembangan kilang minyak bumi, Minyak isolasi sintetis mulai dikembangkan pada industri petrokimia sekitar tahun 1960 (Salam. Mazen A., dkk, 2000: 207).

a) Minyak Isolasi Organik

Yang termasuk dalam kelompok minyak isolasi organik adalah minyak sayur, minyak rosin dan ester. Ester alami dihasilkan oleh reaksi kimia antara asam nabati dan alkohol. Reaksi ini dibantu dengan katalis seperti asam sulfur. Dengan semakin menipisnya kandungan minyak bumi hal ini membuat para peneliti khawatir, sehingga minyak organik mulai dicoba digunakan pada transformator dan peralatan listrik lainnya.

b) Minyak Isolasi Mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya adalah minyak bumi (minyak mentah) yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi mineral memiliki beberapa kekurangan yakni sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, pemburukan yang cepat dan sifat kimianya yang dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi. Minyak ini masih harus dimodifikasi agar memenuhi syarat-syarat teknis sebagai isolasi yang baik. Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus tenaga (CB) dan kapasitor.

c) Minyak Isolasi Sintesis

Minyak isolasi sintesis adalah minyak isolasi yang diproses secara kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari minyak isolasi mineral. Oleh karena itu saat ini sangat banyak dikembangkan penelitian-penelitian tentang kemungkinan pemakaian dari beberapa jenis pemakaian isolasi sintesis pada peralatan tegangan tinggi. Beberapa jenis dari minyak ini antara lain adalah askarel, silikon cair, dan ester sintesis.

Kelebihan dari minyak isolasi sintesis dibandingkan dengan minyak isolasi mineral adalah kekuatan dielektriknya diatas 40 kV, harga murah, sukar terbakar dan tidak mudah teroksidasi serta berat jenisnya yang relatif kecil sehingga memudahkan dalam proses pemisahan dan pemurnian kadar air. Namun minyak isolasi sintesis beracun dan dapat melukai kulit.

Tabel 2.2. Jenis Isolasi Minyak Transformator

Minyak Mineral	Minyak Sintesis
Diala C, B (USA)	Aroclor (USA)
Univolt (Esso)	Clopen (Jerman)
Nynas (Swedia)	Phenoclor (Perancis)
Mictrans (Jepang)	Pyroclor (UK)
Sun Ohm-MU (Korea)	Fenclor (Italia)
Petromin (Dubai)	Pyralene (Perancis)
BP-Energol (UK)	Pyranol (USA)

Sumber : PT PLN (Persero) Litbang Ketenagalistrikan

2.1.6.3. Persyaratan Minyak Sebagai Isolasi

Menurut SPLN 49 – 1 (1982), minyak isolasi harus memiliki beberapa syarat yaitu :

a) Kejernihan (*Appearance*)

Minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

b) Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang. Hal ini sangat membantu dalam mempertahankan homogenitas minyak isolasi.

c) Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)

Viskositas memegang peranan dalam pendinginan, dipergunakan untuk menentukan kelas minyak dan kurang dipengaruhi oleh kontaminasi atau kerusakan minyak.

d) Titik Nyala (*Flash Point*)

Temperatur ini adalah temperatur campuran antara uap dari minyak dan udara yang akan meledak (terbakar) bila didekati dengan bunga api kecil. Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat yang mudah terbakar.

e) Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

f) Angka Kenetralan (*Neutralization Number*)

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolasi dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau cacat atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan (*additive*). Angka kenetralan dapat dipakai sebagai petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau diolah.

g) Korosi Belerang (*Corosive Sulphur*)

Pengujian ini menunjukkan kemungkinan korosi yang dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.

h) Tegangan Tembus (*Breakdwon Voltage*)

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.

i) Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation*)

Harga yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan dan sebagainya.

j) Kandungan Air (*Water Content*)

Adanya air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi dan juga adanya air akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (*insulating paper*).

k) Tahanan Jenis (*Resistivity*)

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan terjadinya kontaminasi yang bersifat konduktif.

l) Tegangan Permukaan (*Interfacial Tension*)

Adanya kontaminasi dengan zat yang terlarut (*soluble contamination*) atau hasil-hasil kerusakan minyak, umumnya menurunkan nilai tegangan permukaan. Penurunan tegangan permukaan juga menurunkan indikator yang peka bagi awal kerusakan minyak.

m) Kandungan Gas (*Gas Content*)

Adanya gas terlarut dan gas bebas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi. Adanya gas seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), etana (C_2H_6), etilen (C_2H_4) dan asetilin (C_2H_2) menunjukkan terjadinya dekomposisi minyak isolasi pada kondisi operasi, sedangkan adanya karbondioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) menunjukkan kerusakan pada bahan isolasi.

2.1.6.4. Pemurnian dan Perawatan Minyak Transformator

Minyak transformator dapat terkontaminasi oleh berbagai macam pengotor seperti kelembaban, serat, resin dan sebagainya. Ketidakmurnian dapat tinggal di dalam minyak karena pemurnian yang tidak sempurna. Pengotoran dapat terjadi saat pengangkutan dan penyimpanan, ketika pemakaian, dan minyak itu sendiri pun dapat membuat pengotoran pada dirinya sendiri. Ada beberapa metode pemurnian minyak transformator, yakni :

a) Mendidihkan (*Boiling*)

Minyak dipanaskan hingga titik didih air dalam alat yang disebut Boiler. Air yang ada dalam minyak akan menguap karena titik didih minyak lebih tinggi dari pada titik didih air. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana namun memiliki kekurangan. Pertama hanya air yang dipindahkan dari minyak, sedangkan serat, arang dan pengotor lainnya tetap tinggal. Kedua minyak dapat menua dengan cepat karena suhu tinggi dan adanya udara.

Kekurangan yang kedua dapat diatasi dengan sebuah boiler minyak hampa udara (*vacum oil boiler*). Alat ini dipakai dengan minyak yang dipanaskan dalam bejana udara sempit (*air tight vessel*) dimana udara dipindahkan bersama dengan air yang menguap dari minyak. Air mendidih pada suhu rendah dalam ruang hampa oleh sebab itu menguap lebih cepat ketika minyak dididihkan dalam alat ini pada suhu yang relatif rendah. Alat ini tidak menghilangkan kotoran pada kendala pertama, sehingga pengotor tetap tinggal.

b) Alat Sentrifugal (*Centrifuge reclaiming*)

Air serat, karbon dan lumpur yang lebih berat dari minyak dapat dipindahkan minyak setelah mengendap. Untuk masalah ini memerlukan waktu lama, sehingga

untuk mempercepatnya minyak dipanaskan hingga 45 - 55°C dan diputar dengan cepat dalam alat sentrifugal. Pengotor akan tertekan ke sisi bejana oleh gaya sentrifugal, sedangkan minyak yang bersih akan tetap berada ditengah bejana. Alat ini mempunyai efesiensi yang tinggi. Alat sentrifugal hampa merupakan pengembangannya.

c) Penyaringan (*Filtering*)

Dengan metode ini minyak disaring melalui kertas penyaring sehingga pengotor tidak dapat melalui pori-pori penyaring yang kecil, sementara embun atau uap telah diserap oleh kertas yang mempunyai *hygroscopicity* yang tinggi. Jadi *filter press* ini sangat efisien memindahkan pengotor padat dan uap dari minyak yang merupakan kelebihan dari pada alat sentrifugal. Walaupun cara ini sederhana dan lebih mudah untuk dilakukan, keluaran yang dihasilkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan alat sentrifugal yang menggunakan kapasitas motor penggerak yang sama. *Filter press* ini cocok digunakan untuk memisahkan minyak dalam *circuit breaker* (CB), yang biasanya tercemari oleh partikel jelaga (arang) yang kecil dan sulit dipisahkan dengan menggunakan alat sentrifugal.

d) Regenerasi (*Regeneration*)

Produk-produk penuaan tidak dapat dipindahkan dari minyak dengan cara sebelumnya. Penyaringan hanya baik untuk memindahkan bagian endapan yang masih tersisa dalam minyak. Semua sifat sifat minyak yang tercemar dapat dipindahkan dengan pemurnian menyeluruh yang khusus yang disebut regenerasi.

Dengan menggunakan absorben untuk regenerasi minyak transformator sering dipakai di gardu induk dan pembangkit. Adsorben adalah substansi yang partikel partikelnya dapat menyerap produk produk penuaan dan kelembaban pada

permukaannya. Hal yang sama dilakukan adsorben dalam ruang penyaring tabung gas yang menyerap gas beracun dan membiarkan udara bersih mengalir. Regenerasi dengan adsorben dapat dilakukan lebih menyeluruh bila minyak dicampur dengan asam sulfur.

Ada dua cara merawat minyak dengan adsorben yaitu :

- Pertama, minyak yang dipanasi dapat dicampur secara menyeluruh dengan adsorben yang dihancurkan dan kemudian disaring.
- Kedua, minyak yang dipanaskan dapat dilewatkan melalui lapisan tebal adsorben yang disebut perkolasi.

Adsorben untuk regenerasi minyak transformator terdiri dari selinder yang dilas dengan lubang pada dasarnya dimana adsorben ditempatkan dengan minyak yang dipanaskan (80-100°C) hingga mengalir ke atas melalui adsorber. Ketika minyak mengalir ke atas, filter tersumbat oleh partikel halus adsorber dan udara dibersihkan dari adsorber lebih cepat dan lebih menyeluruh pada awalnya. Adsorber yang digunakan untuk regenerasi minyak transformator kebanyakan yang terbuat *silica gel* dan alumina atau sejenis tanah liat khusus yang dikenal sebagai pemutih (*bleaching earth*), lempung cetakan (*moulding clay*).

2.1.7. Tegangan Tembus Minyak Transformator

Pada saat sebuah bahan dielektrik kehilangan kemampuan sebagai isolasi/penyekat yaitu ketika hambatan aliran listrik tiba-tiba dihilangkan karena melewati beberapa proses, hal ini disebut tembus listrik atau kegagalan listrik (*electrical breakdown*). Agar kegagalan listrik bisa terjadi bahan isolasi harus ditempatkan diantara dua konduktor yang mempunyai perbedaan potensial listrik (Bartnikas, 1994: 262). Tegangan pada elektroda yang menyebabkan suatu bahan

isolasi tembus listrik disebut dengan tegangan tembus yang didefinisikan sebagai nilai tegangan yang menimbulkan kuat medan listrik pada suatu bahan isolasi sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektrik bahan isolasi tersebut (Tobing, 2012: 27-28).

Tegangan tembus adalah kemampuan isolasi cair untuk menahan tekanan listrik (*electric stress*). Tegangan tembus merupakan nilai tegangan minimum yang menyebabkan meningkatnya konduktivitas yang akan mengakibatkan kegagalan isolasi. Besar arus yang tinggi yang melewati daerah yang mengalami kegagalan isolasi menyebabkan proses mekanik, suhu dan kimia yang mengubah karakteristik dielektrik. Perubahan yang terjadi sangat signifikan sehingga dielektrik tidak mampu sepenuhnya kembali ke kondisi normal karena adanya partikel padat dan senyawa kimia atau uap air didalam isolasi cair secara terus menerus yang meningkat selama aktivitas pelepasan listrik. Adanya kontaminasi air, gelembung-gelembung udara dan partikel padat yang cenderung berpindah ke area tekanan listrik yang tinggi dan akan menyebabkan menurunnya nilai dari tegangan tembus. Karena hal ini, tegangan tembus dapat menjadi salah satu indikator pemburukan minyak.

Beberapa faktor yang diperkirakan mempengaruhi tegangan tembus minyak transformator pada saat pengujian di atas, adalah :

- Luas permukaan elektroda.
- Jarak celah (gap spacing).
- Pendinginan.
- Perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak).

- Kekuatan dielektrik dari minyak transformator yang diuji.

Teori-teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antara panjang ruang celah (sela) dengan besarnya tegangan gagal atau *breakdown*. Teori-teori tersebut hanya membahas tentang tegangan gagal maksimum yang dapat dicapai. Meskipun demikian, dari teori-teori tersebut dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen tegangan gagal pada benda cair, yaitu (Abduh, 2003, diacu dalam Kurrahan dan Abduh, 2016) :

$$V_b = A \cdot d^n \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan V_b adalah tegangan tembus / *breakdown* (kV), d adalah panjang ruang celah (mm), A adalah konstanta, n adalah konstanta yang nilainya kurang dari 1.

2.1.8. Perubahan Suhu Terhadap Minyak Transformator

Kekuatan dielektrik minyak isolasi transformator dipengaruhi oleh suhu cairan isolasi, memberikan tekanan secara konstan pada minyak transformator, ukuran celah elektroda, bahan dari elektroda dan keadaan permukaan elektroda serta ketidakmurnian yang terkandung dalam minyak transformator (Salam, 2000: 223). Pada sebuah transformator dapat mengalami beban lebih yang tidak begitu besar selama jangka waktu yang lama. Karena beban lebihnya tidak banyak, pengamanan arus lebih tidak akan bekerja. Akan tetapi karena beban lebih itu berlangsung lama, suhu transformator akan secara berangsur-angsur naik. Dan kenaikan suhu itu secara lambat laun akan dapat merusak keadaan isolasi transformator (Kadir, 2010: 282). Menurut Harlow (2004) dalam bukunya ia

mengatakan bahwa oksidasi dan hidrolisis adalah reaksi yang paling signifikan yang terjadi pada peralatan listrik yang diisi minyak. Reaksi ini tergantung pada banyaknya kandungan oksigen, air dan asam. Semakin tinggi jumlah kandungan komponen ini, maka akan mempercepat terjadinya proses reaksi degradasi pada bahan isolasi. Tingkat reaksi degradasi ini juga bergantung pada perubahan suhu. Semakin meningkat suhu maka akan meningkat pula reaksi kimia yang terjadi pada minyak isolasi. Akibatnya, masa manfaat minyak isolasi akan semakin berkurang ketika suhu semakin meningkat.

Dengan adanya pemanasan minyak transformator dalam suhu yang tinggi dan pemanasan dalam waktu yang semakin lama hal itu membuat penuaan termal pada minyak transformator. Prinsip dari percepatan penuaan termal diperoleh dari kondisi termal pada isolasi minyak itu sendiri. Kenaikan temperatur dalam durasi yang panjang akan mempengaruhi sifat fisik, elektrik dan kimia dari isolasi minyak itu sendiri. Hal ini berpengaruh terhadap laju degradasi serta oksidasi, dimana interaksi antara hidrokarbon dalam isolasi minyak dan oksigen yang terlarut dari udara, akan menimbulkan proses oksidasi dan membentuk senyawa asam serta endapan yang dapat memicu terjadinya kegagalan isolasi.

Namun pada saat minyak transformator dipanaskan pada suhu tertentu kadar air pada minyak transformator akan menguap dengan membentuk gelembung udara, sehingga kadar air semakin rendah. Jumlah kadar air berbanding terbalik dengan nilai tegangan tembus minyak transformator (Suwarno, dkk., 2008). Ketika terdapat banyak kandungan air pada minyak transformator maka nilai tegangan tembusnya rendah, namun ketika kandungan air pada minyak sedikit maka nilai tegangan tembusnya tinggi.

2.2. Penelitian yang Relevan

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Abdul Rajab mahasiswa Fakultas Teknik Elektro dan Informatika dan Aminuddin Sulaeman mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2011 dengan judul “*A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with mineral and Syntethic Types Insulating Liquid under Temperature Variation*” . Pada salah satu penelitiannya ia menguji tegangan tembus minyak kelapa pada variasi suhu yang berbeda dan meningkat yakni dari suhu kamar hingga suhu 120°C. Jadi dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh peneliti sekarang dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdul Rajab dan Aminuddin Sulaeman ada persamaan dan ada perbedaan. Persamaannya adalah sama sama meneliti tentang pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator, namun perbedaannya adalah jenis minyak yang di teliti pada penelitian skripsi ini dengan Abdul Rajab dan Aminuddin Sulaeman berbeda yakni minyak kelapa (jenis minyak alternatif untuk isolasi cair transformator) dengan minyak isolasi Shell Diala B (jenis minyak isolasi mineral) dan perbedaannya juga terletak pada rentang suhu pengujian dan pemakaian minyak transformator baru dan bekas pakai pada penelitian ini.
- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Kunto mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro pada tahun 2008 dengan judul “Analisis Karakteristik Breakdown Voltage pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C - 130°C. Pada penelitiannya, ia menggunakan sampel minyak transformator shell diala B. Perlakuan pada pengujian ini adalah dengan

memvariasikan dua tipe jenis elektroda yakni elektroda setengah bola-setengah bola dan elektroda bola, perbedaan jarak sela elektroda dan perubahan suhu terhadap karakteristik *breakdown voltage* minyak. Jadi dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh peneliti sekarang dengan penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Kunto Wibowo ada persamaan dan ada perbedaan. Persamaannya adalah sama sama meneliti tentang pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator sampel minyak transformator, namun perbedaannya adalah pada penelitian skripsi ini terletak pada perlakuan rentang suhu pengujian dan pemakaian minyak transformator baru dan bekas pakai pada penelitian ini.

- 3) Penelitian yang dilakukan oleh Alfian Junaidi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Tridharma tahun 2008 dengan judul "*Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair*". Pada penelitiannya, penulis menggunakan minyak isolasi jenis sintetis yakni minyak pelumas jenis Mesran Super SAE 40 produk dari PT. Pertamina dan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap tegangan tembus pada minyak pelumas. Pengujian tegangan tembus bahan dilakukan dengan variasi suhu, mulai dari suhu kamar hingga suhu 100°C dengan pengujian setiap kenaikan 10°C. Jadi dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh peneliti sekarang dengan penelitian yang dilakukan oleh Alfian Junaidi ada persamaan dan ada perbedaan. Persamaannya adalah sama sama meneliti tentang pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak isolasi transformator, namun perbedaannya adalah jenis minyak yang di teliti oleh penulis proposal ini dengan Alfian Junaidi

berbeda yakni minyak pelumas (jenis minyak isolasi sintetis) dengan minyak transformator jenis mineral yang umumnya dipakai pada transformator dan perbedaannya juga terletak pada rentang suhu pengujian dan pemakaian minyak transformator baru dan bekas pakai pada penelitian ini.

2.3. Kerangka Berpikir

Pada sistem tenaga listrik, transformator adalah suatu peralatan listrik yang sangat vital. Transformator yang berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Transformator bekerja terus menerus dan dalam kondisi apapun sesuai beban listrik. Keadaan beban listrik yang berlebihan dan kinerja transformator yang terus menerus sehingga terjadi panas pada transformator dapat menyebabkan transformator mengalami gangguan dan bahkan bisa terjadi kebakaran akibat peningkatan suhu.

Transformator adalah peralatan listrik yang harganya sangat mahal sehingga usaha-usaha pencegahan dan pemeliharaan agar terjadinya kerusakan pada transformator, salah satunya dengan sistem isolasi. Sistem isolasi transformator terdiri dari isolasi padat dan isolasi cair. Isolasi cair yang digunakan pada transformator ialah minyak isolasi. Minyak isolasi sangat penting bagi sistem isolasi transformator karena fungsinya sebagai pemisah antara dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat dan juga sebagai media pendingin ketika terjadi kenaikan suhu pada transformator. Minyak isolasi yang dipakai pada transformator di sistem tenaga listrik adalah minyak isolasi jenis mineral yang bahan dasarnya adalah minyak bumi (minyak mentah) yang diproses dengan cara destilasi.

Ketika transformator beroperasi dalam jangka waktu yang lama dan mengalami beban lebih maka akan terjadi kenaikan suhu pada transformator. Akibatnya, minyak transformator juga akan mengalami pemanasan. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya penuaan termal pada minyak transformator ketika mengalami pemanasan dalam jangka waktu yang semakin lama. Namun pada suhu tertentu, kandungan air pada minyak transformator akan berkurang akibat adanya penguapan sehingga terbentuk uap-uap air di udara. Jumlah kadar air berbanding terbalik dengan nilai tegangan tembusnya. Ketika minyak transformator mempunyai kandungan air yang banyak maka nilai tegangan tembusnya rendah, dan sebaliknya ketika jumlah kadar air pada minyak transformator sedikit maka nilai tegangan tembus minyak transformator tinggi. Karena suhu berpengaruh dengan jumlah kandungan air pada minyak transformator, maka suhu juga berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator.

2.4. Hipotesis Penelitian

Terdapat pengaruh antara suhu terhadap minyak terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian

Tempat yang akan digunakan untuk penelitian yaitu di Laboratorium Kimia PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat , Jl. Raya Cililitan Besar No. 1 Cawang, Jakarta Timur. Penelitian akan berlangsung selama 2 bulan yaitu mulai dari bulan Juli sampai dengan September 2017. Subjek penelitian yang akan dibahas yaitu minyak isolasi transformator dalam keadaan baru dan bekas pakai.

3.2. Populasi dan Sampel

3.2.1. Populasi

Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri dari obyek/subyek yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan (Sugiyono, 2016: 117). Populasi dalam penelitian ini adalah adalah minyak isolasi transformator.

3.2.2. Sampel

Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Bila populasi besar dan peneliti tidak mungkin mempelajari semua yang ada pada populasi, misalnya karena keterbatasan dana, tenaga dan waktu, maka peneliti dapat menggunakan sampel yang diambil dari populasi itu. (Sugiyono, 2016: 118).

Berdasarkan pertimbangan dari populasi, maka sampel yang digunakan adalah minyak transformator dalam keadaan baru merek Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra dan minyak transformator bekas pakai merek Shell Diala B. Sampel yang digunakan masing-masing minyak untuk pengujian ada 5 sampel dan satu sampel minyak sebanyak 500 ml. Sampel minyak transformator baru diambil dari drum minyak dalam keadaan baru yang berasal dari drum dan belum mengalami *treatment* sedangkan sampel untuk minyak transformator bekas pakai diambil dari minyak transformator bekas yang berasal dari transformator yang sudah diganti karena telah mengalami kerusakan namun minyak tersebut sudah di tampung di dalam drum minyak bekas.

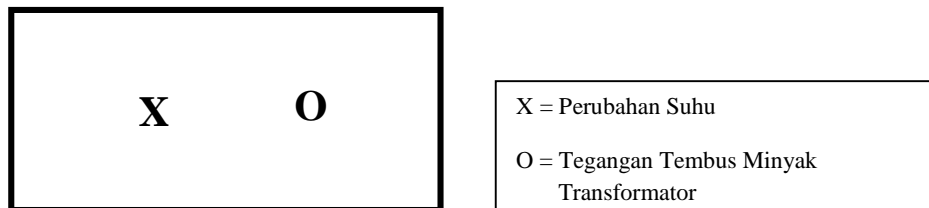
3.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2016: 60). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada variabel bebas dan variabel terikat. Untuk variabel bebas adalah perubahan suhu yang diberikan terhadap minyak transformator dan untuk variabel terikat adalah tegangan tembus minyak transformator dalam keadaan baru dan bekas pakai.

3.4. Metode dan Rancangan Penelitian

3.4.1. Metode Penelitian

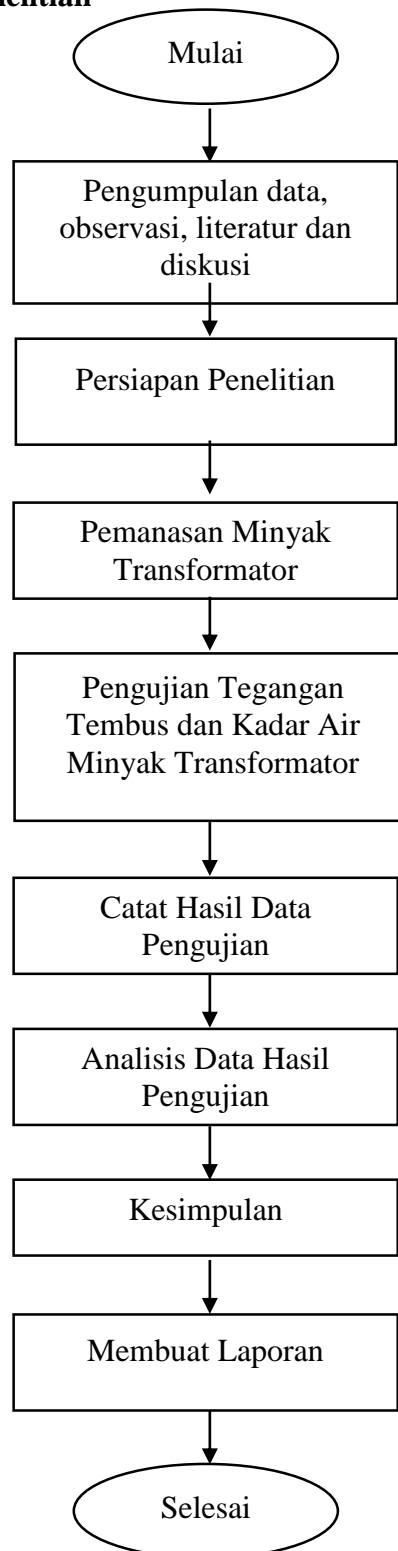
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan desain *One-Shot Case Study* sebagai berikut :



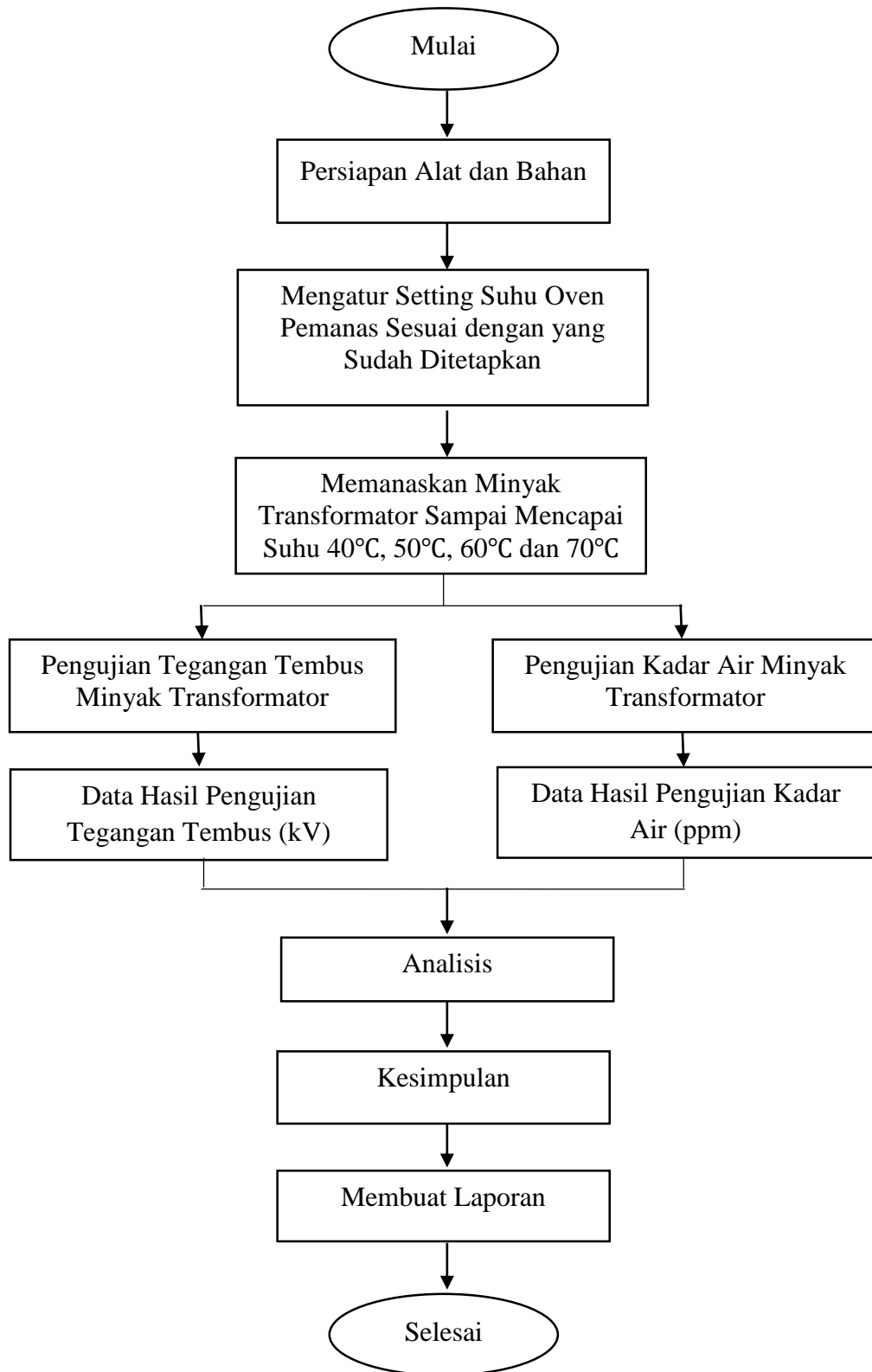
Gambar 3.1. Desain Eksperimen

Pada pengujian ini terdapat satu jenis minyak transformator namun yang akan diuji terdapat tiga merek minyak transformator yakni Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra untuk minyak transformator baru dan Shell Diala B untuk minyak transformator bekas pakai. Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan masing-masing minyak transformator dengan suhu yaitu 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C. Setiap suhu minyak transformator dilakukan sebanyak 3 kali pengujian. Setelah diberi perlakuan akan di analisis dari ketiga minyak tersebut apakah ada pengaruh suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator dan minyak transformator mana yang lebih baik nilai tegangan tembusnya setelah diuji. Kemudian juga menentukan kualitas minyak transformator baru dan bekas pakai apakah memenuhi standar IEC 60296 dan IEC 60422.

3.4.2. Rancangan Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.3. Diagram Alur Pengujian

3.5. Instrumen Penelitian

Berdasarkan dari tujuan penelitian ini, maka instrumen penelitian dikembangkan dalam bentuk alat dan bahan penelitian, gambar rangkaian, langkah kerja, dan tabel hasil pengujian.

3.5.1. Alat dan Bahan Penelitian

- 1) *Breakdown Voltage Test* merk Megger OTS 100AF

Breakdown Voltage Test merk Megger OTS 100AF adalah alat pengujian tegangan tembus memberikan tegangan uji maksimum 100 kV dengan suhu maksimum minyak transformator pada saat pengujian sekitar 70°C.



Gambar 3.4. Alat Penguji Tegangan Tembus Megger OTS 100AF

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- 2) Karl Fischer *Titrino Coulometer* (Alat Penguji Kadar Air)

Karl Fischer *Titrino Coulometer* adalah alat yang digunakan untuk menguji seberapa besar atau kecilnya kadar air dalam minyak transformator.



Gambar 3.5. Karl Fischer Titrino Coulometer

(Sumber : <https://www.metrohm.com/en/products/karl-fischer-titration/>)

3) *Drying Oven* (Oven Pemanas) Memmert

Drying oven (oven pemanas) merek Memmert adalah alat yang digunakan untuk memanaskan minyak transformator pada suhu tertentu dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 3.6. Oven Pemanas

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4) Botol Schott Duran

Botol Schott Duran adalah tempat atau wadah untuk menampung minyak transformator. Dan minyak yang ditampung dalam botol ini nantinya akan dipanaskan di dalam oven pemanas.



Gambar 3.7. Botol Schott Duran
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5) *Syringe*

Syringe adalah alat ukur dengan wadah berbahan kaca yang bentuknya mirip seperti suntikan, digunakan untuk pengambilan minyak ketika ingin menguji kadar air dan dga. Tujuan penggunaan *syringe* adalah agar minyak tidak terkontaminasi dengan udara luar.



Gambar 3.8. Syringe
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

6) *Infrared Thermometer*

Infrared Thermometer digunakan untuk memastikan dan memantau kevalidan suhu minyak transformator.



Gambar 3.9. Infrared Thermometer
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

7) Minyak Transformator.

Minyak transformator yang diuji dan dianalisis merupakan minyak transformator jenis mineral oils dalam keadaan baru diambil dari drum penyimpanan dan minyak bekas pakai dari transformator. Untuk minyak transformator baru digunakan dua merek minyak yaitu Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nytro Libra, dan untuk minyak transformator bekas pakai digunakan minyak merk Shell Diala B.



Gambar 3.10. Minyak Transformator Baru (kiri dan tengah) dan Minyak Transformator Bekas Pakai (kanan)
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3.1. Standar Minyak Transformator Baru IEC 60296

Karakteristik Minyak Transformator	Satuan	Nilai
Tegangan Tembus Minyak Transformator Tidak Diberi <i>Treatment</i>	kV	Min. 50
Tegangan Tembus Minyak Transformator Setelah Diberi <i>Treatment</i>	kV	Min. 70

Tabel 3.2. Standar Minyak Transformator Pakai Standar IEC 60422

Kategori Tegangan (kV)	Tegangan Tembus (kV/2,5 mm)		
	Baik	Wajar/Cukup	Buruk
70	> 40	30 - 40	< 30
150	> 50	40 - 50	< 40
500	> 60	50 - 60	< 50

Tabel 3.3. Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I

<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Values</i>
<i>Breakdown Voltage Untreated</i>	kV	60
<i>Breakdown Voltage After Treatment</i>	kV	75

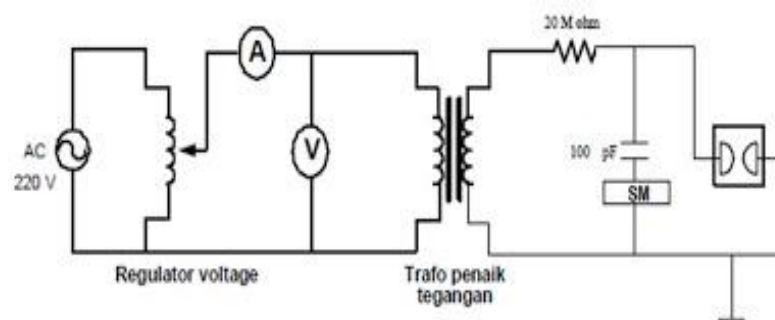
Tabel 3.4. Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Nynas Nytro Libra

<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Values</i>
<i>Breakdown Voltage Untreated</i>	kV	40 - 60
<i>Breakdown Voltage After Treatment</i>	kV	75

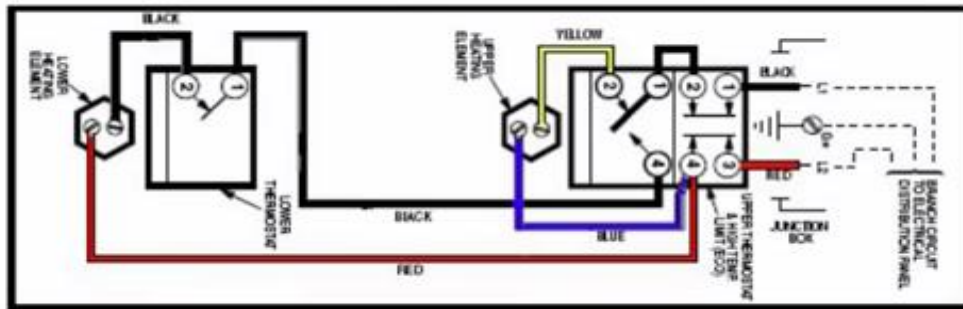
Tabel 3.5. Spesifikasi Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala B

<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Values</i>
<i>Breakdown Voltage Untreated</i>	kV	> 30
<i>Breakdown Voltage After Treatment</i>	kV	> 70

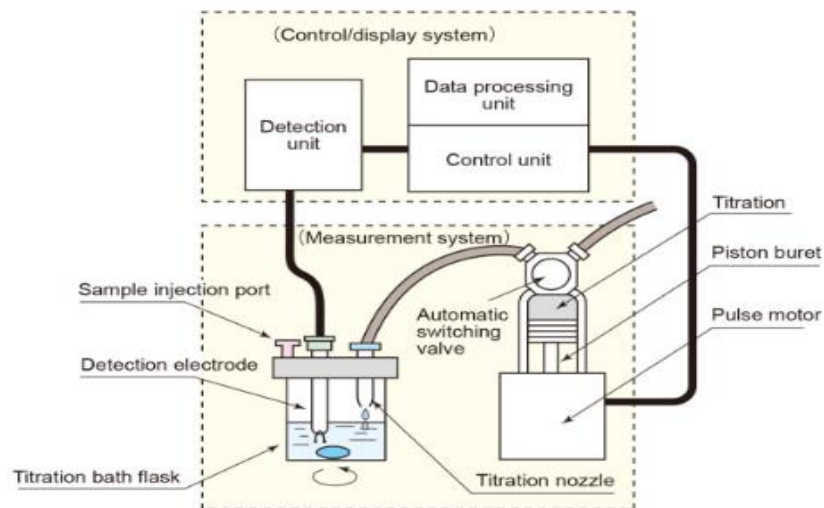
3.5.2. Gambar Rangkaian Pengujian



Gambar 3.11. Rangkaian Ekuivalen Pengujian Tegangan Tembus



Gambar 3.12. Rangkaian Ekuivalen Oven (*Heater*)



(c)

Gambar 3.13. Rangkaian Ekuivalen Pengujian Kadar Air

Keterangan Simbol :

A = Amperemeter

V = Voltmeter

3.5.3. Prosedur Pengujian

- a) Pemanasan Sampel Minyak Transformator
 - 1) Menyiapkan semua alat dan bahan termasuk pengambilan sampel minyak
 - 2) Sebelum pengujian botol schott duran dibilas (dibersihkan) dengan sampel minyak yang akan diuji sebanyak dua kali sampai bersih.
 - 3) Sampel pertama pada minyak transformator dalam keadaan baru tidak diberikan perlakuan pemansan yakni sesuai pada suhu ruangan yakni 28°C.
 - 4) Untuk sampel kedua minyak transformator baru yang sudah didalam botol schott duran kemudian dipanaskan dengan oven pemanas sampai suhu minyak mencapai 40°C.
 - 5) Pada sampel minyak baru seterusnya dilakukan hal yang sama pada masing-masing suhu 50°C, 60°C dan 70°C.
 - 6) Untuk sampel minyak transformator dalam keadaan bekas pakai sama perlakuan mengikuti cara dari no 1 – 5.
- b) Pengujian Tegangan Tembus Sampel Minyak Transformator
 - 1) Sebelum menuangkan minyak transformator yang sudah dipanaskan, gelas penguji terlebih dahulu dibersihkan dengan cara dibilas dengan sedikit minyak transformator yang sudah dipanaskan tadi sebanyak 2 – 3 kali.
 - 2) Kemudian sisa minyak transformator yang sudah dipanaskan dituang seluruhnya kedalam gelas penguji sampai penuh terisi dan dibiarkan selama beberapa saat untuk menghilangkan gelembung udara yang mungkin terjadi saat pengisian minyak kedalam bejana uji.
 - 3) Gelas penguji yang sudah berisikan minyak isolasi yang sudah diberi perlakuan kemudian ditaruh secara pelan ditempat yang telah disediakan yang

disebut dengan *chamber* pada alat penguji tegangan tembus Megger OTS 100AF.

- 4) Hidupkan alat penguji tegangan tembus dan set pengujian *breakdown voltage* menurut standar IEC 156.
- 5) Sebelum dimulai pengujian tegangan tembus dengan menaikkan tegangan elektroda, minyak terlebih dahulu melalui proses pengadukan selama 5 menit.
- 6) Setelah itu proses uji tegangan tembus minyak isolasi dimulai. Tegangan elektroda naik secara bertahap mulai dari 0 kV/detik sampai minyak di sela elektroda standar terjadi percikan (tembus listrik).
- 7) Proses pengujian tegangan tembus satu sampel minyak transformator dilakukan sebanyak enam kali dan setiap pengujian terdapat selang waktu 2 menit.
- 8) Catat tegangan tembus minyak isolasi tersebut dan segera matikan alat penguji dan putuskan hubungan dengan sumber.
- 9) Kemudian minyak disela elektroda diaduk dengan suatu tangkai tipis dan bersih untuk menghilangkan gelembung udara yang timbul saat terjadi tembus listrik.
- 10) Kemudian dilanjutkan pengujian dengan sampel minyak isolasi berikutnya hingga selesai.
- 11) Merapikan dan kembalikan semua peralatan yang sudah digunakan pada tempatnya.

c) Pengujian Kadar Air Sampel Minyak Transformator

- 1) Sampel minyak transformator yang sudah dipanaskan dituang kedalam gelas ukur kecil yang sudah dibersihkan dan kering sekitar 10 ml. Bersihkan juga *syringe* yang akan digunakan untuk mengambil sampel minyak transformator.
- 2) Hidupkan alat uji kadar air (*Karl Fischer Coulometer*) lalu tunggu hingga alat siap untuk dipakai dengan munculnya tulisan “*ready*” pada layar monitor.
- 3) Ambil sampel minyak transformator sebanyak 2 ml menggunakan *syringe* secara perlahan supaya tidak ada gelembung udara yang masuk.
- 4) Pada *remote* klik tombol “*start*” lalu suntikan minyak tersebut pada gelas titrasi yang tersedia pada alat penguji kadar air secara perlahan tanpa menyentuh cairan yang ada didalam gelas titrasi.
- 5) Kemudian klik tombol “*enter*” pada *remote* dan cabut *syringe* dari gelas titrasi. Tunggu sampai proses titrasi selesai.
- 6) Pengujian kadar air ini dilakukan 2 kali sehingga dibutuhkan minyak transformator sebanyak 4 ml.
- 7) Untuk pengujian selanjutnya lakukan hal yang sama dari nomor 1 sampai 5.
- 8) Catat hasil pengujian kadar air yang diambil dari nilai rata-rata dari 2 kali pengujian
- 9) Matikan alat penguj kadar air dan rapihkan alat-alat dan bahan yang sudah dipakai.

3.5.4. Lembar Pengujian**Tabel 3.6. Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
(pada suhu ruangan)**

No.	Merek Minyak Transformator	Kondisi	Tegangan Tembus (kV)
1.	Shell Diala S4 ZX-I	Baru	
2.	Nynas Nitro Libra	Baru	
3.	Shell Diala B	Bekas Pakai	

**Tabel 3.7. Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Shell Diala S4 ZX-I dalam Keadaan Baru**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1				
40	1				
	2				
	3				
50	1				
	2				
	3				
60	1				
	2				
	3				
70	1				
	2				
	3				

**Tabel 3.8. Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Nynas Nitro Libra dalam Keadaan Baru**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1				
40	1				
	2				
	3				
50	1				
	2				
	3				
60	1				
	2				
	3				
70	1				
	2				
	3				

**Tabel 3.9. Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Shell Diala B dalam Keadaan Bekas Pakai**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian °C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1				
40	1				
	2				
	3				
50	1				
	2				
	3				
60	1				
	2				
	3				
70	1				
	2				
	3				

Tabel 3.10. Data Pengujian Kadar Air Minyak Transformator

Merek Minyak Transformator	Suhu Minyak Transformator (°C)	Jumlah Kadar Air (ppm)
Shell Diala S4 ZX-I	28	
	40	
	50	
	60	
	70	
Nynas Nitro Libra	28	
	40	
	50	
	60	
	70	
Shell Diala B	28	
	40	
	50	
	60	
	70	

Tabel 3.11. Data Perbandingan Nilai Tegangan Tembus dan Kadar Air Minyak Transformator

Merek Minyak Transformator	Suhu (°C)	Jumlah Kadar Air (ppm)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Shell Diala S4 ZX-I	28		
	40		
	50		
	60		
	70		
Nynas Nitro Libra	28		
	40		
	50		
	60		
	70		
Shell Diala B	28		
	40		
	50		
	60		
	70		

3.6. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode observasi di laboratorium. Metode observasi digunakan adalah observasi partisipatif karena terlibat langsung dalam kegiatan penelitian dan mengamati objek-objek data penelitian. Dalam observasi partisipatif, peneliti terlibat dengan kegiatan sehari-hari orang yang sedang diamati atau yang digunakan sebagai

sumber data, dan ikut merasakan suka dukanya. Peneliti mengamati apa yang dikerjakan oleh pembimbing lapangan, mendengarkan apa yang diucapkan, mencatat hasil observasi, dan kemudian berpartisipasi dalam aktivitas yang diteliti (Sugiyono, 2016: 204). Kemudian prosedur pengumpulan data menggunakan tabel data pengujian.

3.7. Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah statistik deskriptif. Menurut Sugiyono (2016:207) statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Penelitian akan melakukan penarikan kesimpulan secara deskriptif mengenai apakah adanya pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator berdasarkan hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar IEC 60422 dan IEC 60296 untuk mengetahui apakah tegangan tembus minyak transformator baru maupun pakai tersebut sesuai standar atau tidak. Kemudian disimpulkan apakah suhu berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus dan pengaruhnya terhadap minyak transformator baru dan bekas pakai apakah sama atau ada perbedaan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator, maka akan didapatkan data berupa besar tegangan tembus minyak transformator yang akan diuji nantinya. Data ini diperoleh melalui nilai tegangan tembus yang terlihat pada alat Megger OTS 100AF. Selanjutnya data ini akan diolah menggunakan microsoft excel untuk melihat grafik nilai tegangan tembus dari minyak transformator tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan satu buah variabel yakni suhu atau temperatur minyak transformator (40°C, 50°C, 60°C dan 70°C) dan sampel pengujian menggunakan minyak transformator baru dan bekas pakai merek Shell diala dan Nynas. Pada masing-masing suhu dicapai dengan tiga variasi waktu pemanasan minyak yang berbeda beda.

Untuk pengujian tegangan tembus masing-masing merek minyak transformator terdapat 5 suhu target minyak transformator dan setiap target suhu minyak transformator dilakukan sebanyak 3 kali pengujian (kecuali pada suhu normal 28°C), sehingga diperoleh 13 buah data. Untuk setiap sampel, mula-mula minyak dipanaskan melebihi temperatur yang telah ditetapkan (40°C, 50°C, 60°C dan 70°C) dengan toleransi kurang lebih sebesar 1-2°C karena harus memindahkan minyak kedalam bejana uji. Sebelum dimulai pengujian suhu minyak diukur terlebih dahulu. Selanjutnya, menghidupkan alat Megger OTS 100AF serta memilih metode uji IEC 60156 dimana pada satu sampel akan ada 6 kali data pengujian tegangan tembus lalu diberikan data rata-rata tegangan tembusnya juga. Pada

pengujian kadar air pada setiap sampel pada suhu 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C hanya satu saja dimana sampel minyaknya yang bersuhu mendekati suhu yang ditetapkan. Setiap sampel dilakukan 2 kali pengujian kemudian diambil nilai rata-ratanya.

4.1.1. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus ditujukan untuk menentukan besar kekuatan dielektrik minyak transformator dan mengetahui apakah minyak transformator masih dalam kondisi bagus dan layak dipakai sebagai bahan isolasi atau penyekat dan juga sebagai media pendingin pada transformator. Sampel minyak transformator yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak transformator baru diambil dari drum dan minyak transformator bekas pakai dari transformator yang mempunyai tegangan 150 kV. Untuk minyak transformator baru digunakan dua merek minyak transformator yakni Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra, sedangkan untuk minyak transformator bekas pakai digunakan merek Shell Diala B.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator pada suhu ruangan 28°C

No.	Merek Minyak Transformator	Kondisi	Tegangan Tembus (kV)
1.	Shell Diala S4 ZX-I	Baru	55,4
2.	Nynas Nitro Libra	Baru	53,1
3.	Shell Diala B	Bekas Pakai	14,3

**Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Shell Diala S4 ZX-I dalam Keadaan Baru**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1	28	25	55,4	55,4
40	1	40,1	35	55,6	58,6
	2	40,2	38	58,4	
	3	40,3	39	61,8	
50	1	50,2	39	56,4	62,9
	2	50	45	64,5	
	3	50,1	49	67,9	
60	1	60,3	51,5	56,9	65,5
	2	60,1	51,7	68,8	
	3	60,3	52	70,8	
70	1	70,1	55	62,5	68,6
	2	70	55	70,8	
	3	70,3	55	72,4	

**Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Nynas Nitro Libra dalam Keadaan Baru**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1	28	25	53,1	53,1
40	1	40,3	36,2	54,2	54,8
	2	40,2	36,5	55,1	
	3	40,1	37,2	55,3	
50	1	50,1	42,4	56,8	58,3
	2	50,2	42,3	57,4	
	3	50,2	43,1	60,6	
60	1	60,1	48,5	58	61,1
	2	60,2	49,6	61,2	
	3	60,2	50,6	64,1	
70	1	70,1	53	63,6	65,7
	2	70,2	55,9	65	
	3	70,2	54,5	66,7	

**Tabel 4.4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator
Shell Diala B dalam Keadaan Bekas Pakai**

Target Suhu Minyak Transformator (°C)	Pengujian ke	Suhu Sebelum Pengujian (°C)	Suhu Setelah Pengujian (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)	Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus (kV)
28	1	28	25	14,3	14,3
40	1	40,2	36,4	18,5	19,3
	2	40,4	36,7	19,8	
	3	40,3	35	21,1	
50	1	50,1	40,8	19,4	20,5
	2	50	41,6	20,9	
	3	50,1	42	21,3	
60	1	60,3	43,4	23,1	30
	2	60,2	47,3	29,6	
	3	60,3	47,1	39	
70	1	70,1	55	46,9	51,3
	2	70,2	54,2	49,4	
	3	70,2	54,8	57,1	

4.1.2. Data Hasil Pengujian Kadar Air pada Minyak Transformator**Tabel 4.5. Data Hasil Pengujian Kadar Air pada Minyak Transformator**

Merek Minyak Transformator	Suhu Minyak Transformator	Jumlah Kadar Air
Shell Diala S4 ZX-I	28	27,9
	40	25,45
	50	23,15
	60	21,45
	70	18,5
Nynas Nitro Libra	28	28,95
	40	27,8
	50	27,05
	60	25,7
	70	24,4
Shell Diala B	28	44,2
	40	40,5
	50	38,28
	60	32,5
	70	22,25

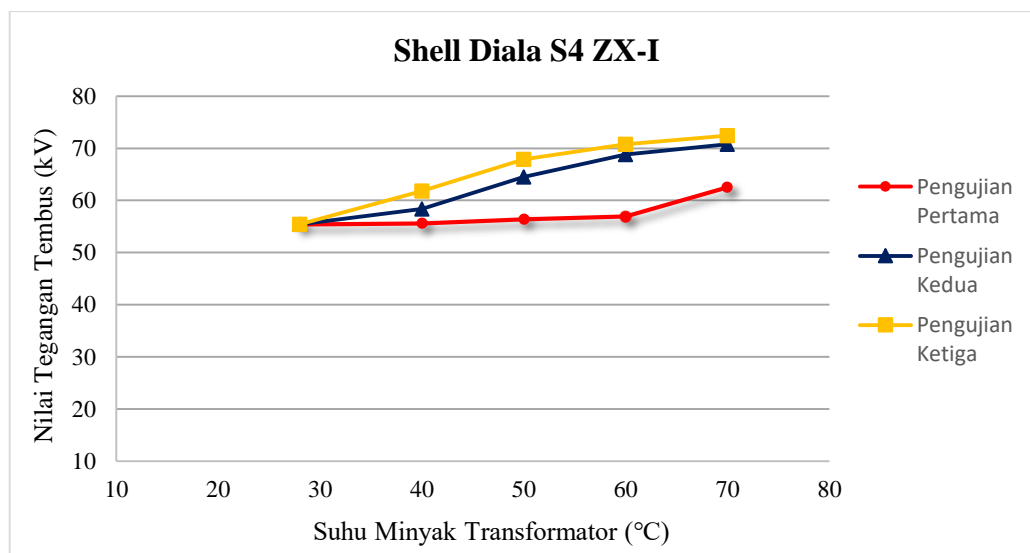
4.1.3. Data Perbandingan Jumlah Kadar Air dan Nilai Tegangan Tembus pada Minyak Transformator

Tabel 4.6. Data Perbandingan Nilai Tegangan Tembus dan Kadar Air Minyak Transformator

Merek Minyak Transformator	Suhu (°C)	Jumlah Kadar Air (ppm)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Shell Diala S4 ZX-I	28	27,9	55,4
	40	25,45	58,6
	50	23,15	62,9
	60	21,45	65,5
	70	18,5	68,6
Nynas Nitro Libra	28	28,95	53,1
	40	27,8	54,8
	50	27,05	58,3
	60	25,7	61,1
	70	24,4	65,7
Shell Diala B	28	44,2	14,3
	40	40,5	19,3
	50	39,28	20,5
	60	32,5	30
	70	22,25	51,3

4.2. Analisis Hasil Data Pengujian

4.2.1. Analisis Nilai Tegangan Tembus Terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)



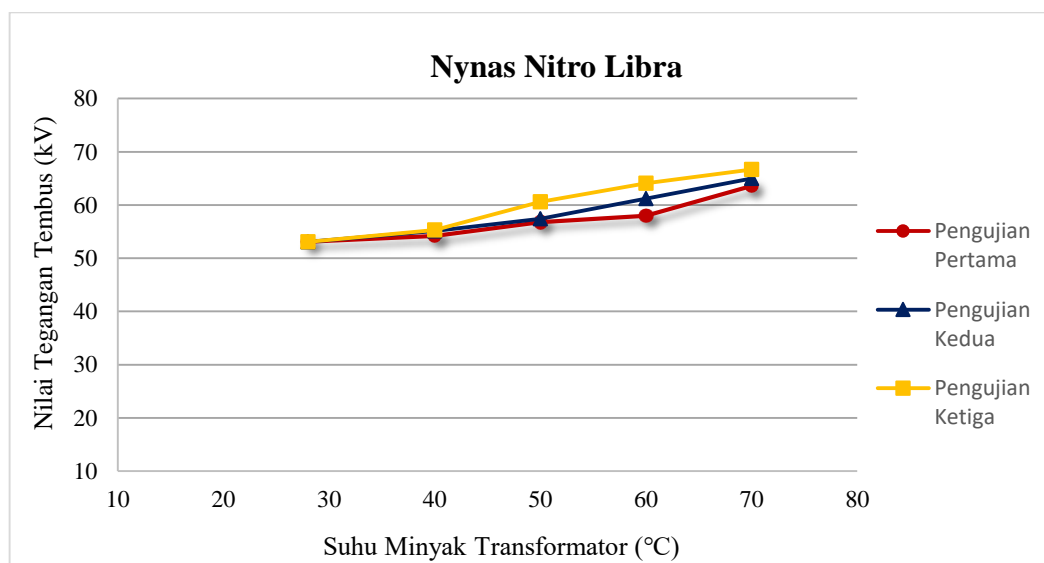
Gambar 4.1. Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I pada Pengujian Pertama sampai Pengujian Ketiga

Berdasarkan kurva Gambar 4.1 terlihat bahwa adanya perubahan suhu mempengaruhi tegangan tembus minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I pada tiga kali pengujian, yaitu nilai tegangan tembus mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar. Dari ketiga gambar kurva diatas, kurva pengujian pertama nilai tegangan tembus terhadap suhu minyak cenderung lebih konstan kenaikannya dibandingkan dengan pengujian kedua. dan pengujian ketiga. Dari ketiga pengujian dan dilihat pada semua suhu, nilai tegangan tembusnya sudah memenuhi standar minimum tegangan tembus minyak transformator baru yaitu sebesar 50 kV/mm².

Pada pengujian pertama pada suhu awal hingga suhu 60°C nilai tegangan tembusnya mengalami sedikit kenaikan sehingga kurvanya terlihat stabil, namun

tegangan tembus mengalami peningkatan yang cukup besar terjadi pada saat suhu 70°C sehingga mengakibatkan kurva ini tidak linier. Selanjutnya pada pengujian kedua, pada suhu 40°C dan 70°C mengalami sedikit penurunan nilai dari yang seharusnya sehingga kurva tersebut tidak linier sempurna. Sedangkan pada pengujian ketiga, pada suhu 60°C dan 70°C mengalami penurunan nilai dari yang seharusnya yang membuat kurva pada pengujian ketiga berbentuk linear. Kesalahan ini bisa disebabkan karena adan resolusi tegangan dan akurasi alat pengukur tegangan tembus sebesar $0,1 \text{ kV} \pm 1\% \pm 2\%$ dan juga faktor kesalahan karena pengaruh suhu, kelembaban dan kondisi bola-bola elektroda penguji.

4.2.2. Analisis Nilai Tegangan Tembus Terhadap Suhu Minyak Transformator Nynas Nitro Libra (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)

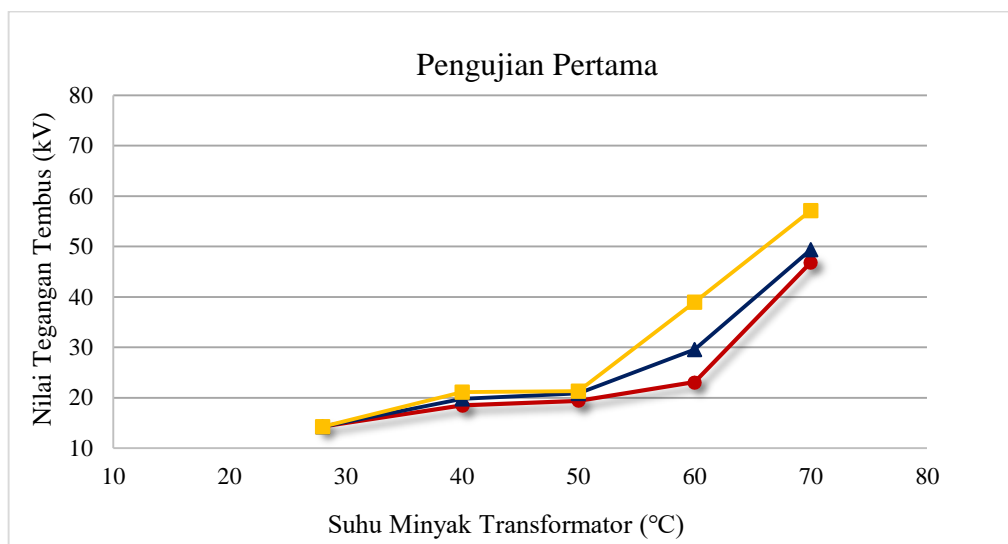


Gambar 4.2. Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Nynas Nitro Libra pada Pengujian Pertama sampai Pengujian Ketiga

Berdasarkan kurva Gambar 4.2. terlihat bahwa adanya perubahan suhu mempengaruhi tegangan tembus minyak transformator Nynas Nitro Libra pada tiga kali pengujian, yaitu nilai tegangan tembus mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar. Dari ketiga gambar kurva diatas, kurva pengujian pertama nilai tegangan tembus terhadap suhu minyak cenderung lebih stabil kenaikannya dibandingkan dengan pengujian kedua dan pengujian ketiga. Dari ketiga pengujian dan dilihat pada semua suhu, nilai tegangan tembusnya sudah memenuhi standar minimum tegangan tembus minyak transformator baru yaitu sebesar 50 kV/mm^2 .

Pada pengujian pertama, pada suhu awal hingga suhu 50°C nilai tegangan tembusnya mengalami peningkatan yang konstan, namun pada saat suhu 60°C - 70°C tegangan tembus mengalami penurunan dari yang seharusnya agar kurva terlihat ideal. Selanjutnya pada pengujian kedua, pada suhu 60°C nilai tegangan tembus sedikit lebih rendah dari nilai tegangan seharusnya yang akan membuat kurva lebih ideal. Sedangkan pada pengujian ketiga, pada suhu 50°C mengalami peningkatan dari yang dari nilai tegangan tembus yang seharusnya dan 70°C mengalami penurunan nilai dari yang seharusnya sehingga kedua titik dari suhu ini membuat kurva pada pengujian ketiga kurang ideal. Kesalahan ini bisa disebabkan karena adan resolusi tegangan dan akurasi alat pengukur tegangan tembus sebesar $0,1 \text{ kV} \pm 1\% \pm 2\%$ dan juga faktor kesalahan karena pengaruh suhu, kelembaban dan kondisi bola-bola elektroda penguji.

4.2.3. Analisis Nilai Tegangan Tembus Terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala B (Pengujian Pertama Sampai Pengujian Ketiga)

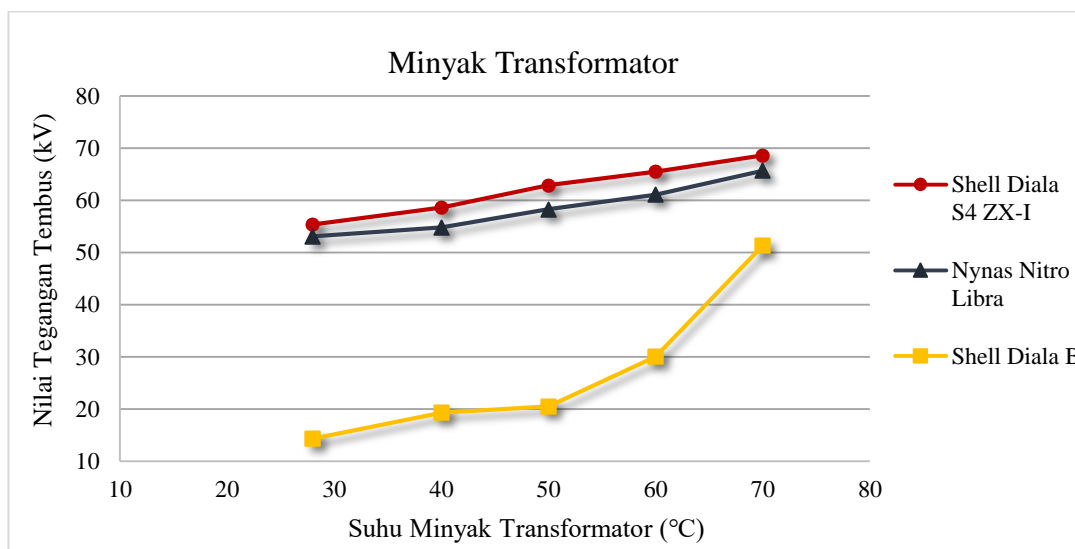


Gambar 4.3. Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala B pada Pengujian Pertama sampai Pengujian Ketiga

Berdasarkan kurva Gambar 4.3. terlihat bahwa adanya perubahan suhu mempengaruhi tegangan tembus minyak transformator Nynas Nitro Libra pada tiga kali pengujian, yaitu nilai tegangan tembus mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar. Dari ketiga gambar kurva diatas, pengujian kedua nilai tegangan tembus terhadap suhu minyak cenderung lebih stabil kenaikannya dibandingkan dengan pengujian kedua. dan pengujian ketiga sehingga bentuk kurva nya hampir mendekati ideal. Dari ketiga pengujian, hanya pada pengujian ketiga pada suhu 70°C nilai tegangan tembusnya sudah memenuhi standar minimum tegangan tembus minyak transformator pakai pada transformator tegangan 150 kV yaitu sebesar 50 kV/mm².

Pada pengujian pertama, pada suhu 40°C nilai tegangan tembus mengalami penurunan dan pada saat suhu 70°C nilai tegangan tembus mengalami kenaikan dari nilai yang seharusnya agar titik pada kurva pengujian pertama terlihat ideal. Pada pengujian kedua juga sama seperti pengujian pertama yaitu pada suhu 40°C nilai tegangan tembus mengalami penurunan dan pada saat suhu 70°C nilai tegangan tembus mengalami kenaikan dari nilai yang seharusnya agar titik pada kurva pengujian pertama terlihat ideal. Sedangkan pada pengujian ketiga, pada suhu 40°C, 60°C dan 70°C mengalami peningkatan dari yang dari nilai tegangan tembus yang seharusnya sehingga ketiga titik dari suhu ini membuat kurva pada pengujian ketiga kurang ideal. Kesalahan ini bisa disebabkan karena adan resolusi tegangan dan akurasi alat pengukur tegangan tembus sebesar 0,1 kV $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ dan juga faktor kesalahan karena pengaruh suhu, kelembaban dan kondisi bola-bola elektroda penguji.

4.2.4. Analisis Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus Terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B



Gambar 4.4. Kurva Nilai Tegangan Tembus terhadap Suhu Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B

Berdasarkan Gambar 4.4. terlihat bahwa adanya perubahan suhu berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan minyak transformator bekas pakai Shell Diala B. Dengan suhu minyak transformator yang semakin tinggi, nilai tegangan tembus minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B mengalami peningkatan.

Pada keadaan normal (suhu ruangan) kedua minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra nilai tegangan tembus sudah memenuhi standar IEC 60296 karena nilai tegangan tembus nya > 50 kV sehingga layak dipakai untuk minyak isolasi transformator. Pada minyak Shell Diala S4 ZX-I terdapat kenaikan yang paling besar pada saat minyak bersuhu 50°C sedangkan

Nynas Nitro Libra mengalami kenaikan tegangan tembus yang paling tinggi pada suhu 70°C. Untuk minyak transformator Shell Diala B jika dibandingkan dengan standar IEC 60422 pada Tabel 3.2. minyak transformator bekas pakai Shell Diala B tidak memenuhi standar baik dilihat nilai tegangan tembusnya dari suhu awal (suhu ruangan 28°C) sampai suhu minyak transformator setelah dipanaskan sampai suhu 60°C dikarenakan nilai tegangan tembusnya < 40 kV. Sedangkan nilai tegangan tembus minyak setelah dipanaskan sehingga suhu minyak 70°C sudah memenuhi standar namun belum kategori minyak isolasi yang baik pada transformator bertegangan 150 kV. Dengan adanya pemanasan membuat nilai tegangan minyak transformator bekas pakai semakin bagus karena salah satu cara pemurnian minyak transformator yakni dengan *boiling* dimana minyak dipanaskan hingga titik didih air sehingga kadar air dalam minyak berkurang yang membuat nilai tegangan tembus minyak transformator meningkat.

Dilihat dari gambar kurva diatas, dari ketiga minyak transformator yang lebih baik dari segi laju kenaikan tegangan tembusnya seiring dengan kenaikan suhu adalah minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra dibandingkan dengan kedua minyak transformator bekas pakai Shell Diala B. Dan dari dua merek minyak transformator baru, kurva laju kenaikan tegangan tembus minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I lebih stabil dan cenderung konstan dibandingkan Nynas Nitro Libra. Pada kurva laju kenaikan tegangan tembus minyak transformator bekas pakai Shell Diala B, pada suhu 50°C dan 60°C titik pada kurva mengalami penurunan yang cukup besar dari nilai seharusnya sehingga laju kenaikannya tidak linier.

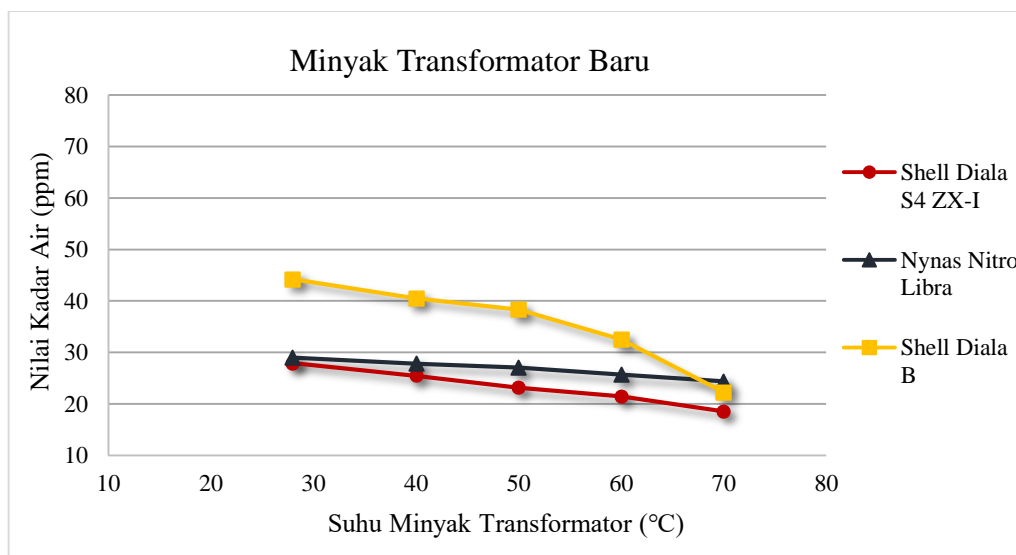
Minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I pada suhu ruangan ke suhu 40°C, nilai tegangan tembusnya mengalami peningkatan namun tidak terlalu besar yaitu 3,2 kV sehingga menjadi 58,6 kV, sementara tegangan tembus minyak transformator Nynas Nitro Libra hanya mengalami sedikit peningkatan sebesar 1,5 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 54,8 kV. Pada suhu 50°C, nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu 4,3 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 62,9 kV, hal ini berarti peningkatan nilai tegangan tembus pada suhu ini lebih rendah dibandingkan dengan peningkatan suhu sebelumnya. Sementara itu nilai tegangan tembus minyak transformator Nynas Nitro Libra pada suhu 50°C juga mengalami peningkatan lebih besar dari suhu sebelumnya yaitu sebesar 3,5 kV sehingga nilai tegangan tembus minyak transformator menjadi 58,3 kV.

Pada suhu 60°C, nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I mengalami peningkatan yang paling kecil diantara suhu-suhu sebelumnya yaitu sebesar 2,6 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 65,5 kV dimana peningkatan nilai tegangan tembusnya semakin kecil dibandingkan suhu sebelumnya. Nilai tegangan tembus Nynas Nitro Libra pada suhu 60°C mengalami sedikit peningkatan, lebih kecil di bandingkan dengan tegangan tembus dari suhu sebelumnya yaitu sebesar 2,8 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 61,1 kV. Pada suhu 70°C, nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I mengalami peningkatan yakni sebesar 2,1 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 68,6 kV, sementara pada minyak transformator Nynas Nitro Libra nilai tegangan tembusnya mengalami peningkatan yang paling besar

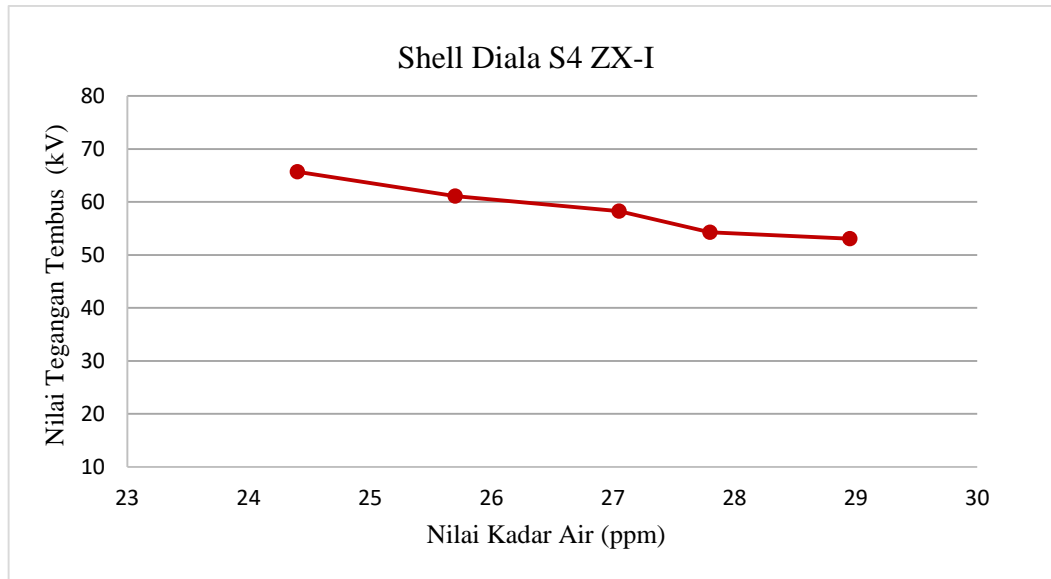
dibandingkan dengan suhu-suhu sebelumnya yaitu sebesar 4,6 kV dari sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 65,7 kV.

Minyak transformator Shell Diala B pada suhu ruangan ke suhu 40°C, nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala B mengalami peningkatan sebesar 5 kV sehingga menjadi 19,3 kV. Kemudian pada suhu 50°C, nilai tegangan tembus Shell Diala B juga mengalami peningkatan paling kecil dibandingkan suhu-suhu sebelumnya yaitu sebesar 1,2 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 20,5 kV. Pada suhu 60°C, nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala B mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu 9,5 kV sehingga nilai tegangan tembusnya menjadi 30 kV. Dan pada suhu 70°C nilai tegangan tembus Shell Diala B mengalami peningkatan yang paling besar dibandingkan suhu-suhu sebelumnya yaitu sebesar 21,3 sehingga tegangan tembusnya menjadi 51,3 kV.

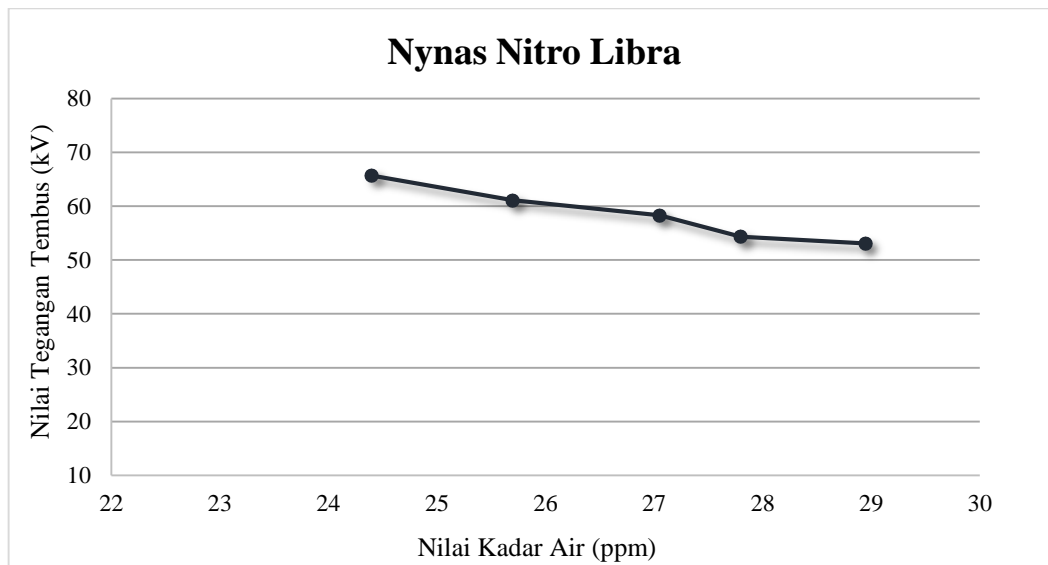
4.2.5. Analisis Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Transformator Baru Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B



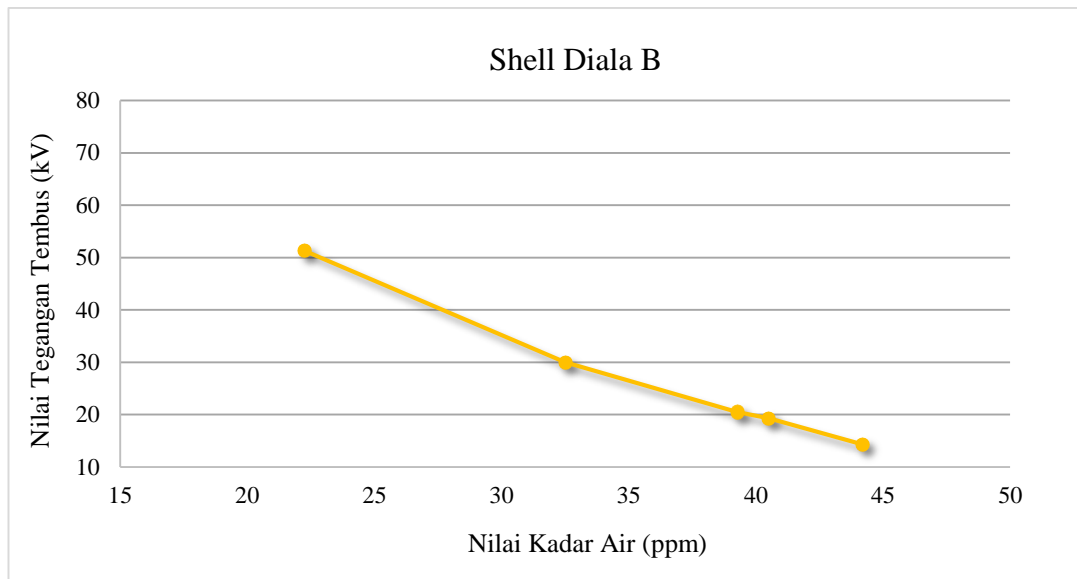
Gambar 4.5. Kurva Nilai Kadar Air terhadap Suhu Minyak Transformator Baru Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B



Gambar 4.6. Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I



Gambar 4.7. Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Baru Nynas Nitro Libra



Gambar 4.8. Kurva Nilai Kadar Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator Bekas Pakai Shell Diala B

Berdasarkan Gambar 4.5. terlihat bahwa adanya perubahan suhu juga mempengaruhi nilai tegangan tembus minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra dan minyak transformator bekas pakai Shell Diala B. Ketika minyak transformator dipanaskan dan suhu minyak semakin meningkat, nilai kadar air dalam minyak transformator semakin menurun. Hal ini berbanding terbalik dengan pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak transformator. Dilihat dari Gambar 4.5. bahwa nilai kadar air yang paling sedikit dan penurunan kadar airnya paling konstan adalah minyak transformator Nynas Nitro Libra. Dan dari ketiga minyak transformator nilai kadar air yang paling rendah yaitu pada suhu 70°C. Berdasarkan kurva Gambar 4.6. sampai Gambar 4.8. terlihat bahwa dengan peningkatan jumlah kadar air dalam minyak transformator mengakibatkan terjadinya penurunan nilai tegangan tembus minyak transformator Shell Diala ZX-I, Nynas Nitro Libra Shell Diala B. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan nilai tegangan tembus minyak transformator karena pengaruh perubahan suhu juga

disebabkan karena berkurangnya kadar air dalam minyak transformator ketika minyak dipanaskan dalam oven pemanas.

Pada minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I nilai kadar air pada suhu 28°C sebesar 27,9 ppm, nilai kadar air pada suhu 40,1°C sebesar 25,45 ppm, pada suhu 50°C nilai kadar airnya sebesar 23,15 ppm, pada suhu 60,1°C nilai kadar airnya sebesar 21,45 ppm dan nilai kadar air pada suhu 70°C sebesar 18,5 ppm. Kemudian pada minyak transformator Nynas Nitro Libra nilai kadar air pada suhu 28°C sebesar 28,95 ppm, nilai kadar air pada suhu 40,1°C sebesar 27,8 ppm, pada suhu 50°C nilai kadar airnya sebesar 27,05 ppm, pada suhu 60,1°C nilai kadar airnya sebesar 25,7 ppm dan nilai kadar air pada suhu 70°C sebesar 24,4 ppm. Lalu pada minyak transformator Shell Diala B nilai kadar air pada suhu 28°C sebesar 44,2 ppm, nilai kadar air pada suhu 40,1°C sebesar 40,5 ppm, pada suhu 50°C nilai kadar airnya sebesar 39,28 ppm, pada suhu 60,1°C nilai kadar airnya sebesar 32,5 ppm dan nilai kadar air pada suhu 70°C sebesar 22,25 ppm.

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada ketiga merek minyak yaitu Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra (baru) serta Shell Diala B (bekas pakai), ketiga minyak transformator ini menunjukkan bahwa suhu berpengaruh terhadap nilai tegangan tembus masing-masing minyak transformator. Pengaruhnya adalah ketika minyak transformator mengalami perubahan suhu yang semakin tinggi maka nilai tegangan tembus minyak transformator mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur kelembaban atau gelembung air akan turut menguap seiring dengan peningkatan suhu pada minyak transformator. Dapat dilihat pada Tabel 4.6 perbandingan jumlah kadar air dan nilai rata-tegangan tembus terhadap suhu minyak transformator, bahwa semakin tinggi

suhu minyak transformator, semakin rendah jumlah kadar air sehingga menyebabkan meningkatnya nilai tegangan tembus minyak transformator. Hal ini juga dijelaskan oleh teori yang dikemukakan oleh Salam (2000: 223) bahwa tegangan tembus mengalami perubahan akibat adanya perubahan suhu pada minyak isolasi. Tegangan tembus mengalami peningkatan dalam jumlah yang tidak terlalu besar kecuali pada suhu diatas titik didih air dan sedikit dibawah titik didih minyak transformator sekitar 250°C. Pada saat itu nilai tegangan tembus baru mengalami penurunan yang cukup drastis karena terbentuknya gelembung-gelembung udara.

Hasil yang sama ditunjukkan dalam penelitian yang pertama yaitu oleh Abdul Rajab, dkk tentang perbandingan sifat-sifat dielektrik pada minyak kelapa sawit, minyak transformator jenis mineral dan sintetis dengan adanya variasi suhu mulai dari 20°C - 120°C dimana salah satunya dilakukan pengukuran nilai tegangan tembus ketiga minyak tersebut. Pada hasil penelitiannya nilai tegangan tembus ketiga jenis minyak mengalami peningkatan seiring dengan naiknya suhu minyak transformator. Nilai tegangan tembus ketiga jenis minyak transformator ini mulai mengalami peningkatan dari suhu 40°C ke suhu 50°C dan pada saat minyak transformator pada suhu 70°C hingga suhu 90°C cenderung tetap dan untuk minyak transformator jenis mineral pada saat suhu 100°C ke suhu 120°C nilai tegangan tembusnya mengalami sedikit penurunan.

Penelitian kedua yang dilakukan oleh Wahyu Kunto dimana penelitiannya menguji karakteristik tegangan tembus minyak transformator shell diala B pada rentang suhu 30°C - 130°C dengan tiga variasi jarak sela elektroda yaitu 2 mm, 2,5 mm dan 3mm. Pada hasil pengujiannya menunjukkan semakin tinggi suhu minyak

transformator dan semakin besar jarak sela elektroda maka semakin tinggi juga nilai tegangan tembusnya. Kemudian hasil penelitian yang dilakukan oleh Andri Suherman, dkk yang melakukan penelitian tentang pengaruh kontaminan air terhadap tegangan tembus pada minyak transformator baru dan minyak kelapa sawit dimana pada penelitiannya sengaja memberikan kontaminan air sebanyak 1% hingga 5% kedalam minyak transformator baru dan minyak kelapa sawit, menunjukkan bahwa semakin banyak kontaminan atau kadar air dalam minyak transformator baru dan minyak kelapa sawit maka nilai tegangan tembus kedua minyak tersebut semakin menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada ketiga merek minyak transformator yaitu dua merek minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra dan satu merek minyak transformator bekas pakai Shell Diala B, berikut ini adalah kesimpulan yang didapatkan:

1. Berdasarkan hasil pengujian dari ketiga merek minyak transformator Shell diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B, ada pengaruh suhu terhadap nilai tegangan tembus minyak transformator. Nilai tegangan tembus minyak transformator mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar seiring dengan semakin tinggi suhu minyak transformator.
2. Nilai tegangan tembus minyak transformator baru yaitu Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra pada suhu ruangan hingga minyak dipanaskan suhu 70°C sudah sesuai standar IEC 60296 yakni syarat nilai tegangan tembus minyak transformator baru > 50 kV. Namun pada minyak transformator bekas pakai Shell Diala B nilai tegangan tembusnya pada saat suhu normal sampai minyak dipanaskan suhu 60°C rendah sehingga minyak transformator tidak sesuai standar atau batas minimum nilai tegangan tembus yang diizinkan, namun pada suhu 70°C nilai tegangan tembusnya sudah memenuhi standar yang ditulis dalam standar IEC 60422 yakni nilai tegangan tembus minyak transformator dari transformator yang mempunyai tegangan 150 kV sebesar 50 kV.
3. Berdasarkan hasil pengujian pada ketiga minyak transformator, minyak transformator baru Shell Diala S4 ZX-I dan Nynas Nitro Libra lebih tahan

terhadap perubahan suhu dibandingkan dengan minyak transformator bekas pakai Shell Diala B karena nilai tegangan tembusnya yang cenderung konstan atau tidak mengalami peningkatan yang terlalu besar seiring dengan semakin tinggi suhu minyak.

4. Terjadinya peningkatan nilai tegangan tembus minyak transformator juga karena adanya penurunan jumlah kadar air dalam minyak transformator seiring dengan meningkatnya suhu. Ketika minyak transformator mengalami suhu yang semakin tinggi, maka jumlah kadar air dalam minyak transformator semakin menurun dikarenakan titik didih air lebih kecil dibandingkan titik didih minyak sehingga terjadi penguapan pada air dalam minyak yang membuat nilai tegangan tembus minyak transformator mengalami peningkatan.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada ketiga merek minyak transformator Shell Diala S4 ZX-I, Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B disarankan:

1. Untuk minyak transformator baru dilakukan pengujian tegangan tembus pada minyak transformator sebelum dipakai pada transformator karena nilai tegangan tembus minyak transformator baru bisa saja mengalami penurunan karena faktor lamanya penyimpanan minyak transformator didalam drum. Untuk minyak transformator pakai juga perlu dilakukan pengecekan suhu minyak transformator dan pengujian tegangan tembus untuk mencegah terjadinya kegagalan isolasi yang akan menyebabkan kerusakan pada transformator.
2. Pengujian karakteristik lainnya seperti kadar air, DGA, viskositas, tegangan permukaan, angka kenetralan dan lainnya juga perlu dilakukan secara rutin

pada minyak transformator baru dan minyak transformator yang sedang dipakai pada transformator.

3. Untuk peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian yang lebih dalam mengenai karakteristik minyak transformator lainnya selain tegangan tembus. Misalnya melakukan penelitian tentang viskositas, tegangan permukaan, rugi-rugi dielektrik, angka kenetralan dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono. (1997). *Teknik Tegangan Tinggi*. PT Pradnya Pramita : Jakarta.
- Abeyundara, D. C., *et al.* (2001). Coconut oil as an alternative to transformer oil. *ERU Symposium*, 1:1-11.
- Bartnikas, R. (1994). *Engineering Dielectrics Volume 3 : Electrical Insulating Liquids*. ASTM : Philadelpiha.
- Bustami, Reza Nugraha. 2014. Analisis Pengaruh Kenaikan Suhu Isolasi Minyak dan Kertas Serta Jumlah Lapisan Kertas Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Transformator [skripsi]. Depok: Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Budiyantoro, E., Syakur, A., & Facta, M. (2008). Analisis tegangan tembus minyak kelapa murni (virgin coconut oil) sebagai isolasi cair dengan variasi elektroda uji. *Teknik Elektro Univeristas Diponegoro*.
- [Depdiknas] Departemen Pendidikan Nasional. (2003). Modul Pembelajaran Ilmu Bahan Listrik. Jakarta: Balai Pustaka.
- Ditjen, Marsuadi. (2011). *Pembangkit Energi Listrik*. Erlangga: Jakarta.
- Harlow, J. H. (2004). *Electric Power Transformer Engineering*. CRC Press : Florida.
- IEC 156. (1995). *Insulating Liquids - Determination of The Breakdown Voltage at Power Frequency - Test Methods*. Switzerland : IEC.
- IEC 60076-2. (2011). *Power Transformers - Part 2 : Temperature Rise for Liquid-Immersed Transformers*. Switzerland : IEC.
- Jonathan, Fritz. 2011. Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator [skripsi]. Depok: Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Junaidi, A. (2008). Pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan tembus pada baham isolasi cair. *Teknoin*, 13:1-5.
- Kadir, Abdul.(2010). *Transformator*. Penerbit Universitas Indonesia : Jakarta
- Kurrahman, Harief T. & Abduh, S. (2016). Studi tegangan tembus minyak kemirisan sebagai alternatif pengganti minyak transformator daya. *JETri*, 13:11-28.
- March, Bastian. 2009. Penilaian Kondisi Isolasi Transformator Dengan Metode Pembobotan *Analytic Hierarchy Process*[skripsi]. Bandung: Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.

- Panggabean, Samuel. 2008. Pengaruh Suhu Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator (Gulf, Nynas, Shell Diala B dan Total) [skripsi]. Medan : Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara . (1982). *SPLN 49-1 : Minyak Isolasi – Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak Isolasi*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara. (1991). *SPLN 8-2 : Transformator Tenaga – Kenaikan Suhu*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Rajab, A. & Sulaeman, A. (2011). A comparison of dielectric properties of palm oil with mineral and syntethic types insulating liquid under temperature variation. *ITB J. Eng. Sci*, 43:191-207.
- Jauhari, R. 2017. Analisa Karakteristik Fisik Dan Elektrik untuk Estimasi Umur Minyak Transformator Menggunakan Hukum Arrhenius [skripsi]. Surabaya : Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Salam, Mazen A., dkk. (2000). *High-Voltage Engineering, Theory and Practice*. Marcel Dekker, Inc. : New York
- Sugiyono.(2015). Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D). Alfabeta : Bandung.
- Suwarno & Darma, I. S. (2008). Dielectric properties of mixtures between mineral oil and natural ester from palm oil. *WSAS Transaction on Power Systems*, 3(2):37-46.
- Suherman, Andi., Herudin, & Puspitasari, E. (2016). Pengaruh kontaminan air terhadap tegangan tembus pada minyak transformator dan minyak kelapa murni. *Gravity*, 2(2):99-111.
- Syahrawardi, R. A. S. (2016). Analisis kekuatan dielektrik minyak kedelai (soybean oil) dengan variasi suhu sebagai alternatif minyak isolasi. *Singuda Ensikom*, 14(38):19-24.
- Tobing, Bonggas L. 2003. *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. PT Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Wibowo, W. K., Yuningtyastuti, & Syakur, A. (2008). Analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak shell diala b pada suhu 30°C - 130°C. *Teknik Elektro Univeristas Diponegoro*.
- Yuliasuti, Endah. 2010. Analysis Of Dielectric Properties Comparison Between Mineral Oil And Synthetic Ester Oil [thesis]. Holland : Department of Electrical Sustainable Energy, Delft University of Technology.
- Elektro Indonesia. (1998). Analisis kegagalan minyak transformator. <http://elektroindonesia.com/elektro/energi12.html>. Diakses pada 3 Januari 2017.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

**LAMPIRAN 1. DATA SHEET ALAT
PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS (*BDV TEST*)
MEGGER OTS 100AF DAN ALAT PEGUJIAN
KADAR AIR *KARL FISCHER TITRINO*
*COULUMETER***

Megger.

OTS100AF, OTS80AF, OTS60AF
Laboratory oil testers

OTS100AF, OTS80AF and OTS60AF Laboratory oil testers



- Laboratory instruments for measuring insulating oil breakdown voltage
- Lock in precision – oil vessel with lockable adjustment
- Bright 3.5" colour display visible out doors
- Suitable for mineral, ester and silicon oils
- Trip detection circuit with direct measurement of voltage and current
- Ultra fast (< 10 us) HV switch off time

DESCRIPTION

Megger's automatic laboratory oil test sets perform accurate breakdown voltage tests on mineral, ester and silicon insulating liquids. Molded test vessels give repeatable results with lock in precision electrode gap setting adjustment wheels. The transparent, shielded lid and large test chamber enable easy access to the test vessel.

All three laboratory models are fitted with a 12 key alphanumeric keypad to facilitate entry of test ID, filenames, notes etc. Alpha characters are entered by repetitive pressing on a key, the same way as text is entered modern cellular telephones.

Test standards are preloaded in the instrument and new versions can be uploaded via USB flash drive. All laboratory models support the creation of user defined custom tests. Test results are identified either by a serial number or asset ID and are time and date stamped. Megger's asset data management software, PowerDB Lite, is bundled at no extra cost providing an excellent tool for downloading and printing results.

An optional internal printer provides a hard copy of results. Ink based printers ensure durability at all temperatures. USB interfaces (x3) support PC connection, USB flash drive, external USB printer and barcode scanner.

User safety is paramount and Megger have designed independent and dual redundant high voltage cut-off circuitry to ensure safety. During a test the operator can terminate by pressing any button on the keyboard which will remove high voltage immediately and abort the test. The transparent lid provides ample visibility within the chamber yet is protected and electrically shielded by a screen with multiple links to instrument ground.

FEATURES AND BENEFITS

- Test voltages - 60 kV, 80 kV and 100 kV
- Lock in precision oil vessel - lockable gap setting
- Flat electrode gap gauges that will not damage electrodes
- Automatic oil temperature measurement
- QVGA colour display with backlight visible in sunlight
- Large, easy clean test chamber with oil drain
- High visibility test chamber
- Safe operation with dual redundant micro switch
- Intuitive user interface

OPTIONAL FEATURES

- Internal printer
- Molded lid impeller
- Voltage check unit (VCM1000)
- Transport case

APPLICATION

Monitoring and maintenance of oil quality is essential in ensuring the reliable operation of oil filled electrical equipment. Codes of practice have been established in many countries that include several different types of test on insulating oils.

One of the fundamental tests of oil quality is the breakdown voltage test, which is a measure of the oil's ability to withstand electric stress. A low breakdown voltage can indicate the presence of contaminants such as water or conducting particles.

Care should be taken to ensure the process of sampling oil and subsequent testing does not in any way contaminate it with foreign objects. Clearing vessels between oil tests should be a rinse with the next sample, never clean with fibrous materials. To ensure an accurate reading set gap carefully and lock adjusting wheels.

Megger OTS 100 AF

SPECIFICATIONS

Test voltage

OTS60AF -80 to +80 kVrms

OTS80AF -40 to +40 kVrms

OTS100AF -80 to +80 kVrms

Voltage resolution and accuracy
0.1 kV $\pm 1\%$ ± 2 digits

Programmed test sequences

ASTM D 1816-04

ASTM D 875A-02

ASTM D 877B-02

IEC 60156-95

Vessels 400 ml (standard) 150 ml (option)

Nylon 12 chamber provides precision electrode alignment, adjusters which lock electrodes in position, option of 150 ml vessel for low volume of samples

Temperature sensor resolution

1 °C

Power supply

Line voltage 85 to 265 VAC

Line frequency 50/60 Hz

Interfaces

USB 2.0 compatible

2 x USB type-A (Flash drive, printer, other)

1 x USB type-B (PC)

Internal printer (option)

Maxtra Impact printer

Paper 57.5 mm wide

External printer

Any printer with USB interface and PC/5 driver

Protection

Dual safety micro switches on chamber cover

Display

520 x 240 QVGA colour display with backlight

Environment

Operating temperature 0 °C to +50 °C

Storage temperature -30 °C to +65 °C

Humidity 80% RH at 40 °C operation

95% RH at 40 °C storage

Altitude

2000 m

Safety

Designed in accordance with IEC61010

EMC

Light Industrial IEC 61326-1 Class II, CISPR 22, CISPR 16-1 and CISPR 16-2

Dimensions

All models 580 mm x 420 mm x 290 mm

Weight

All models 50 kg with printer option fitted



400 ml vessel assembly (with electrodes fitted)



VCM1000

Megger OTS 100 AF Spesifikasi

756/831 Coulometer



Water determination down to trace levels



Karl Fischer *Titrino* Coulometer



The convincing solution for determining low water contents

The 756 and 831 Coulometers continue Metrohm's established line of Karl Fischer instruments for the determination of low-level water contents. Traces right down to the lower micro range can be determined with guaranteed precision and accuracy. The dialogue languages English, French, German, Spanish, Portuguese, Swedish and Italian are standard, as is the backlit screen with its graphics capabilities. The screen not only provides a clear presentation of the parameters, but also shows graphically the course of the KF determination (live curve, μg water versus time).

Despite their compact design the 756 and 831 Coulometers leave no wishes unfulfilled. The printer is already built in (756 Coulometer), and the two RS-232 interfaces allow communication with a balance, external printer and/or computer.

Other features:

- **Change of KF solution at the touch of a button:** If a 700 Dosino is connected to the Coulometer, the spent solution can be replaced at the touch of a button.
- **Flexible but easy to operate:** The instruments have a standard and an expert mode. In the standard mode only those functions are accessible that are needed in routine work.
- **Cell with or without diaphragm:** Both Coulometers are available with two different types of generator cells.
- **Method memory:** The integrated method memory has space for about 100 methods.
- **Thermal sample preparation with KF oven:** The instruments can be operated together with a KF oven.
- **Stand-alone or software-controlled:** You decide whether the instrument is controlled via the incorporated keypad or by means of a computer and *titamo*TM software.

Water contents	10 μg ... 200 mg
Sample types	solid, liquid, gaseous
Number of predefined methods	4
Number of methods that can be stored	up to 100
Automation	with 874 Oven Sample Processor
Automatic conditioning	yes
Live curve	yes
Recalculation of results	yes
Dialogue languages	English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, Swedish

Karl Fischer *Titrimo* Coulometer Spesifikasi

**LAMPIRAN 2. DATA SHEET MINYAK
TRANSFORMATOR SHELL DIALA S4 ZX-I,
NYNAS NITRO LIBRA DAN SHELL DIALA B**



Technical Data Sheet

Shell Diala S4 ZX-I

Premium Inhibited Electrical Insulating Oil

Shell Diala S4 ZX-I is the new electrical insulating oil from Shell designed to meet the challenges presented by the latest power transformers. It offers an extended oil life with the peace of mind of zero sulphur content.

Shell Diala S4 ZX-I is manufactured from zero sulphur base oils produced using Shell's GTL (gas-to-liquid) technology.

These base oils offer a high degree of compositional consistency and have an excellent response to anti-oxidant. In addition they are globally available and free from PCBs, DBDS and passivators.

Shell Diala S4 ZX-I meets both the established and new industry copper corrosion tests.

- Extra Performance
- Meets IEC 60296 - Higher Oxidation Stability & Low Sulphur content

DESIGNED TO MEET CHALLENGES

Performance, Features & Benefits

• Extended oil life

Shell Diala S4 ZX-I is a fully inhibited oil giving outstanding oxidation performance and an extended oil life. Shell Diala S4 ZX-I is also suitable for use in highly loaded applications.

• Transformer protection

Shell Diala S4 ZX-I is manufactured from a zero sulphur* base oil, making it intrinsically non-corrosive towards copper, without the need for passivation or other additives.

Shell Diala S4 ZX-I meets all relevant tests for copper corrosion, namely the established DIN 51353 (Silver Strip Test), ASTM D1275, and also the latest more severe tests: IEC 62535 and ASTM D1275B.

*Sulphur content below 1 ppm detection limit of ASTM D5185

• System efficiency

The good low temperature viscometric properties of the oil ensure proper heat transfer inside the transformer, even from very low starting temperatures.

Shell Diala S4 ZX-I is specially dried and handled to achieve a low water content and retain a high breakdown voltage at point of delivery. This enables it to be used in many applications without further treatment.

Main Applications



Specifications, Approvals & Recommendations

- IEC 60296 (2012): Table 2 Transformer Oil (I) (Inhibited Oil) Section 7.1 (*Higher oxidation stability and low sulphur content*).

For a full listing of equipment approvals and recommendations, please consult your local Shell Technical Help Desk.

Typical physical characteristics

Properties	Method	IEC 60296 Table 2 + section 7.1	Shell Diala S4 ZX-I Typical
Appearance	IEC 60296	Clear, free from sediment and suspended matter	Complies
Density @20°C	ISO 3673	Max. 895	805
Kinematic Viscosity @40°C	ISO 3104	Max. 12	9.6
Kinematic Viscosity @-30°C	ISO 3104	Max. 1 800	382
Flashpoint P.M.	ISO 2719	Min. 135	191
Pour Point	ISO 3016	Max. -40	-42
Neutralisation value	IEC 62021-1	Max. 0.01	<0.01
Total Sulphur Content	ASTM D5185	Max. 500	<1

Shell Diala S4 ZX-I Data Sheet

Properties	Method	IEC 60296 Table 2 + section 7.1	Shell Diala S4 ZX-I Typical
Corrosive Sulphur	DIN 51353	Not corrosive	Not corrosive
Potentially Corrosive Sulphur	IEC 62535	Not corrosive	Not corrosive
Corrosive Sulphur	ASTM D1275 B		Not corrosive
Breakdown Voltage Untreated	kV	IEC 60156	Min. 30 60
Breakdown Voltage After Treatment	kV	IEC 60156	Min. 70 75
Dielectric Dissipation Factor	@90°C DDF	IEC 60247	Max 0.005 <0.001
Oxidation Stability	500h / 120°C	IEC 61125 C	Section 7.1 Limits
Total Acidity	mg KOH/g	IEC 61125 C	Max 0.3 0.02
Sludge	%m	IEC 61125 C	Max 0.05 <0.01
Dielectric Dissipation Factor (DDF @90°C)		IEC 61125 C	Max 0.05 0.001
Water content (drums and IBC)	mg/kg	IEC 60814	Max 40 6
Water content (Bulk)	mg/kg	IEC 60814	Max 30 6
2-Furfural and related compounds content	mg/kg	IEC 61198	Not detectable Complies
Metal passivator additives	mg/kg	IEC 60666	Not detectable Complies
Oxidation inhibitor content (DBPC)	% mass		0.2
PCA Content	% mass	IP346	Max 3 Complies
PCB content	mg/kg	IEC 61619	Not detectable Complies

These characteristics are typical of current production. Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

Health, Safety & Environment

- Health and Safety

Shell Diala S4 ZX-I is unlikely to present any significant health or safety hazard when properly used in the recommended application and good standards of personal hygiene are maintained.

Shell Diala S4 ZX-I is free from polychlorinated biphenyls (PCB).

Avoid contact with skin. Use impervious gloves with used oil. After skin contact, wash immediately with soap and water.

Guidance on Health and Safety is available on the appropriate Material Safety Data Sheet, which can be obtained from your Shell representative.

- Protect the Environment

Take used oil to an authorised collection point. Do not discharge into drains, soil or water.

Shell Diala S4 ZX-I Data Sheet

STANDARD GRADE

Nytro Libra

Electrical insulating oil

Nytro Libra is an uninhibited transformer oil that conforms to IEC 60296 Edition 4.0. Developed and formulated to deliver solid resistance to oil degradation, Nytro Libra provides good oxidation stability thanks to its natural inhibitors. This increases the possibilities for a longer transformer life with less maintenance.

Designed for heavy duty

This product has been specially developed for use in oil-filled electrical equipment – including power and distribution transformers, rectifiers, circuit breakers and switchgears.

Performance and benefits

Good heat transfer. Thanks to low viscosity and viscosity index, this standard grade offers extremely good heat transfer characteristics, ensuring heat is efficiently removed from core and windings.

Reliable oxidation stability. Developed and formulated to deliver good resistance to oil degradation, this grade also provides good oxidation stability for enhanced transformer life and minimum maintenance.

Very good low temperature properties. Naphthenic characteristics allow the transformer to start at the lowest possible temperature – without using pour point depressants.

High dielectric strength. This insulating oil both meets and exceeds the toughest demands on dielectric strength – when stored and handled correctly.

Product description

Nytro Libra fulfils the requirements for IEC 60296 Edition 4.0 uninhibited oil. Nynas classify this product as a standard grade.

Nytro Libra is rigorously analysed and passes the following corrosion tests:

- ASTM D1275 method B
- IEC 62535
- DIN 51353

In accordance with IEC 60296 Edition 4.0, all additives are declared.

There's more to us than this

We're delighted you chose one of our transformer oils. If you have any questions about other products and services, get in touch with your local Nynas contact. Besides top quality oils, we offer a wide range of services, including rapid delivery worldwide, sample analysis, training, seminars and much more. All you have to do is ask. Find out more at www.nynas.com

Nynas Nitro Libra Data Sheet

PRODUCT DATA SHEET

Nytro Libra

PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	SPECIFICATION LIMITS		TYPICAL DATA
			MIN	MAX	
1 - Function					
Viscosity, 40°C	mm ² /s	ISO 3104		12.0	9.5
Viscosity, -30°C	mm ² /s	ISO 3104		1800	1050
Pour point	°C	ISO 3016		-40	-51
Water content	mg/kg	IEC 60814		30	<20
Breakdown voltage					
- Before treatment	kV	IEC 60156	30		40-60
- After treatment	kV	IEC 60296	70		>70
Density, 20°C	kg/dm ³	ISO 12185		0.895	0.877
DDF at 90°C		IEC 60247		0.005	<0.001
2 - Refining/stability					
Appearance		IEC 60296	Clear, free from sediment		complies
Acidity	mg KOH/g	IEC 62021		0.01	<0.01
Interfacial tension	mN/m	EN 14210	40		48
Corrosive sulphur		DIN 51353	non-corrosive		non-corrosive
Potentially corrosive sulphur		IEC 62535	non-corrosive		non-corrosive
Corrosive sulphur		ASTM D 1275 B	non-corrosive		non-corrosive
DBDS	mg/kg	IEC 62697-1		not detectable	not detectable
Antioxidant	wt %	IEC 60666		not detectable	not detectable
Metal passivator additives	mg/kg	IEC 60666		not detectable	not detectable
2-Furfural and related compounds content	mg/kg	IEC 61198		0.05	<0.05
Aromatic content	%	IEC 60590			9
3 - Performance					
Oxidation stability at 120°C, 164 h		IEC 61125 C			
Total acidity	mg KOH/g			1.2	0.57
Sludge	wt %			0.8	0.18
DDF at 90°C				0.500	0.063
4 - Health, safety and environment (HSE)					
Flash point, PM	°C	ISO 2719	135		150
PCA	wt %	IP 346		3	<3
PCB		IEC 61619	not detectable		not detectable

Nytro Libra is an uninhibited insulating oil, meeting IEC 60296 Ed.4 (2012) General specifications.

Severely Hydrotreated Insulating Oil
Issuing date: 30/09/2014

Nynas Nitro Libra Data Sheet



Shell Diala Oil B

High Performance Electrical insulating oil

Shell Diala B is a non-inhibited insulating oil manufactured from naphthenic feedstocks. It offers good dielectric properties, good oxidation stability and provides efficient heat transfer. It has excellent low temperature properties achieved without the use of pour point depressants.

Shell Diala B meets both the established and the new industry copper corrosion tests.

Applications

- **Transformers**
Electrical insulating oil for grid and industrial transformers.
- **Electrical equipment**
Components such as rectifiers, circuit breakers and switchgears.

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell Representative.

Performance Features and Advantages

- **Good oxidation stability**
Diala B offers inherent natural resistance to oil degradation.
- **Very good low temperature properties**
The naphthenic nature of the feedstock of Diala B provides a good low temperature performance without adding any additives.
- **Good heat transfer characteristics**
The good low temperature properties of the oil ensures proper heat transfer inside the transformer, even from lowest starting temperatures.
- **Anti corrosion properties**
Shell Diala B is non-corrosive towards copper, with no need for passivation. Diala B meets all relevant tests on copper corrosion, namely the established DIN 51353 (Silver Strip Test) and ASTM D1275, and also the newer tests: IEC 62535 and ASTM D1275B.

Specification and Approvals

Shell Diala B meets the following specification:
IEC 60296 (2003),
Table 2 Transformer Oil (U), uninhibited

Storage precautions

The critical electrical properties of Shell Diala B are easily compromised by trace contamination with foreign material. Typically encountered contaminants include moisture, particles, fibres and surfactants. Therefore, it is imperative that electrical insulating oils be kept clean and dry. It is strongly recommended that storage containers be dedicated for electrical service and include airtight seals. It is further recommended that electrical insulating oils be stored indoors in climate-controlled environments.

Health and Safety

Guidance on Health and Safety are available on the appropriate Material Safety Data Sheet which can be obtained from your Shell representative.

Shell Diala B is free of polychlorinated biphenyls (PCB).

Protect the environment

Take used oil to an authorized collection point. Do not discharge into drains, soil or water.



Technical Data Sheet

Typical Characteristics

Property	Units	Method	IEC 60296 Requirement	Diala B
Appearance		IEC 60296	Clear, free from sediment and suspended matters	Complies
Density at 20 °C	kg/m ³	ISO 3675	Max. 895	881
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	ISO 3104	Max. 12	10
Kinematic viscosity at -30 °C	mm ² /s	ISO 3104	Max. 1.800	1.400
Flashpoint P.M.	°C	ISO 2719 / ASTM D93	Min. 135	140
Pourpoint	°C	ISO 3016	Max. -40	-57
Neutralisation value	mg KOH/g	IEC 62021-1	Max. 0,01	< 0,01
Corrosive Sulphur		DIN 51353	Not corrosive	Not corrosive
Corrosive Sulphur		IEC 62535	-	Not corrosive
Corrosive Sulphur		ASTM D 1275 B	-	Not corrosive
Breakdown voltage	kV	IEC 60156		
Untreated			Min. 30	>30
After treatment			Min. 70	>70
Dielectric Dissipation Factor (DDF) at 90 °C		IEC 60247	Max. 0,005	0,002
Oxidation Stability (164 h /120 °C)		IEC 61125 C		
Total acidity	mg KOH/g		Max. 1,2	0,9
Sludge	%m		Max. 0,8	0,3
DDF at 90°C		IEC 60247	Max. 0,5	0,1

These characteristics are typical of current production.

Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

Shell Diala B Data Sheet

**LAMPIRAN 3. HASIL DATA PENGUJIAN
TEGANGAN TEMBUS MINYAK
TRANSFORMATOR**



PT. PLN (Persero)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT
LABORATORIUM CAWANG

PENGUJIAN MINYAK TRAFKO PADA SUHU RUANGAN (28°C)

Kondisi Minyak Trafo	Merek Minyak Trafo	Data ke (Nilai Tegangan Tembus dalam kV)						Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus
		1	2	3	4	5	6	
Baru	Shell Diala S4 ZX-1	71,8	60,5	45,1	78,3	42,8	33,9	55,4 kV
	Nynas Nitro Libra	42,3	49,7	50,1	58,3	66,5	51,5	53,1 kV
Bekas Pakai	Shell Diala B	12,4	11,9	16,7	15,3	14,8	14,4	14,3 kV

Penguji

Azelia Puteri

Jakarta, 6 September 2017

Mengetahui

Faldi Murisman



PT. PLN (Persero)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT
LABORATORIUM CAWANG

PENGUJIAN MINYAK TRAF0 BARU SHELL DIALA S4 ZX-I

Target Suba Minyak	Setting Suhu Oven	Suhu Sebelum Pengujian	Suhu Setelah Pengujian	Waktu Pemanasan	Data ke (Nilai Tegangan Tembus dalam KV)						Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus
					1	2	3	4	5	6	
28°C	—	28°C	25°C	—	71,8	60,5	45,1	78,3	42,8	33,9	55,4 KV
40°C	50°C	40,1°C	35°C	85 menit	62	53,7	60,5	47	55,7	54,9	55,6 KV
	60°C	40,2°C	38°C	45 menit	62,4	60,1	58,6	56,9	58,3	54,2	58,4 KV
	70°C	40,3°C	39°C	26 menit	61,3	64,4	73,3	58,7	54,4	59	61,8 KV
	70°C	50,2°C	39°C	73 menit	50	53,9	49,8	64,4	50,6	69,9	56,4 KV
50°C	80°C	50°C	45°C	40 menit	72,9	55,8	78,6	59,8	54,7	65,6	64,5 KV
	90°C	50,1°C	49°C	20 menit	73,8	71,6	56,9	65	69,1	71	67,9 KV
	80°C	60,3°C	51,5°C	79 menit	65,3	65,1	64,1	50,7	49,6	46,7	56,9 KV
	90°C	60,1°C	51,7°C	45 menit	73,5	63,6	80	61,2	75	59,5	68,8 KV
60°C	100°C	60,3°C	52°C	20 menit	66,3	73,3	69,5	71	76,7	68	70,8 KV
	90°C	70,1°C	55°C	82 menit	61,3	65,3	67,4	54,2	59,5	67,2	62,5 KV
	100°C	70°C	55,6°C	54 menit	64,5	79,7	65,3	79,1	71,1	65,3	70,8 KV
70°C	110°C	70,3°C	55°C	34 menit	78,7	74	68,3	76,2	70,1	67,1	72,4 KV

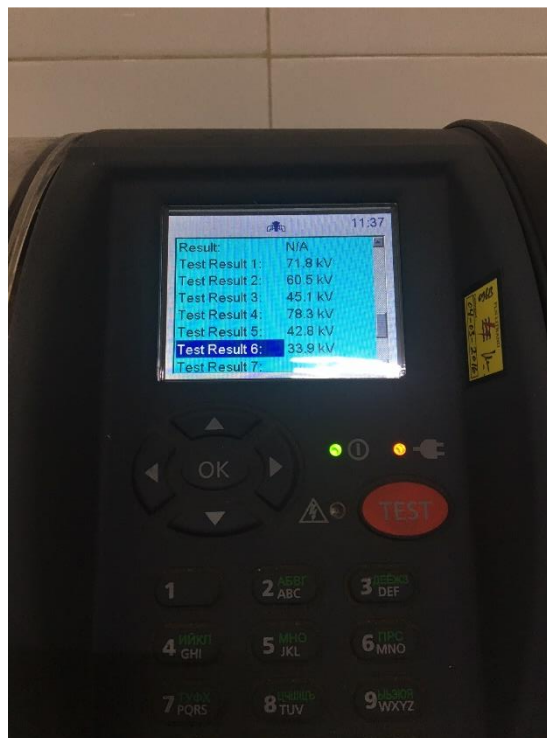
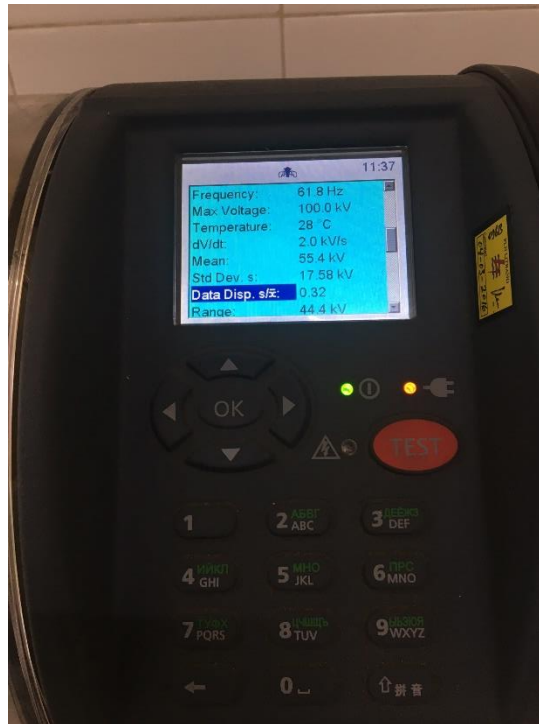
Penguji

Azelia Putri

Jakarta, 22 Agustus 2017

Mengetahui

Fajdi Murtisman



Tampilan Layar Hasil Pengujian Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I

PT. PLN (Persero)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT
LABORATORIUM CAWANG



PENGUJIAN MINYAK TRAFU BARU NYNAS NITRO LIBRA

Target Suhu Minyak	Setting Suhu Oven	Suhu Sebelum Pengujian	Suhu Setelah Pengujian	Waktu Pemanasan	Data ke (Nilai Tegangan Tembus dalam kV)						Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus
					1	2	3	4	5	6	
28°C	—	28°C	25°C	—	42,3	49,7	50,1	58,3	66,5	51,5	53,1 kV
40°C	50°C	40,3°C	36,2°C	78 menit	58	61	52,7	53,4	52,3	50,4	54,2 kV
	60°C	40,2°C	36,5°C	45 menit	65	58,1	52,3	56,2	54	45,3	55,1 kV
	70°C	40,1°C	37,2°C	24 menit	71,8	49	47,2	58,6	56,8	48,3	55,3 kV
50°C	70°C	50,1°C	42,4°C	74 menit	57,1	61,5	61	58	55,8	47,7	56,8 kV
	80°C	50,2°C	42,3°C	42 menit	52,9	63,3	58	49,2	61,7	59,6	57,4 kV
	90°C	50,2°C	43,1°C	24 menit	65,9	63	58,9	61,5	59,4	54,9	60,6 kV
60°C	80°C	60,1°C	48,5°C	75 menit	70,1	64	64,7	52,9	46,1	49,8	58 kV
	90°C	60,2°C	49,6°C	45 menit	67,8	69,4	55,5	59,9	58,4	56,3	61,2 kV
	100°C	60,2°C	50,6°C	24 menit	53	74,1	72,6	65,1	55,4	64,4	64,1 kV
70°C	90°C	70,1°C	53°C	84 menit	60,6	70,4	68,2	56,4	68,2	57,6	63,6 kV
	100°C	70,2°C	55,9°C	55 menit	67,2	78,2	66,9	62,9	56,8	46,9	65 kV
	110°C	70,2°C	54,5°C	34 menit	78,2	67	65	62,8	61,9	65,2	66,7 kV

Penguji

Azella Putri

Jakarta, 7 September 2017

Mengetahui

Aldi Mafisman



Tampilan Layar Hasil Pengujian Minyak Transformator Nynas Nitro Libra

PENGUJIAN MINYAK TRAFU BEKAS PAKAI SHELL DIALA B

Tingkat Suhu Minyak	Sring Suhu Oven	Suhu Sebelum Pengujian	Suhu Setelah Pengujian	Waktu Penurasan	Data ke (Nilai Tegangan Tembus dalam KV)						Nilai Rata-Rata Tegangan Tembus
					1	2	3	4	5	6	
28°C	—	28°C	25°C	—	12,4	11,9	16,7	15,3	14,8	14,4	14,3 KV
40°C	50°C	40,2°C	36,4°C	80 menit	21,3	16,2	22,8	15,7	15,7	19,5	18,5 KV
	60°C	40,4°C	36,7°C	46 menit	28,5	21,7	20,3	13	18,8	16,8	19,8 KV
	70°C	40,3°C	35°C	25 menit	20,5	17	26,7	17,4	26,2	19	21,1 KV
50°C	70°C	50,1°C	40,8°C	78 menit	23,8	22,6	17,1	14	23,2	16	19,4 KV
	80°C	50°C	41,6°C	42 menit	13,9	17,8	22,9	24,8	21,9	24,4	20,9 KV
	90°C	50,1°C	42°C	25 menit	15,1	19,8	50	21,9	22,4	18,8	21,3 KV
60°C	80°C	60,3°C	43,4°C	75 menit	22,4	28,1	18,5	16,8	23,3	29,7	33,1 KV
	90°C	60,2°C	47,3°C	42 menit	33,9	24,9	22,8	29,5	34,7	33,4	29,6 KV
	100°C	60,3°C	47,1°C	24 menit	36,3	35,8	40,2	44,7	30,7	46,1	39 KV
70°C	90°C	70,1°C	55°C	85 menit	45,6	38,9	44,2	51,4	54,3	46,9	46,9 KV
	100°C	70,2°C	54,2°C	55 menit	43,9	49,4	56,8	47,7	49	49,6	49,4 KV
	110°C	70,2°C	54,8°C	35 menit	58	60,1	47,5	68,9	38,9	49,2	57,1 KV

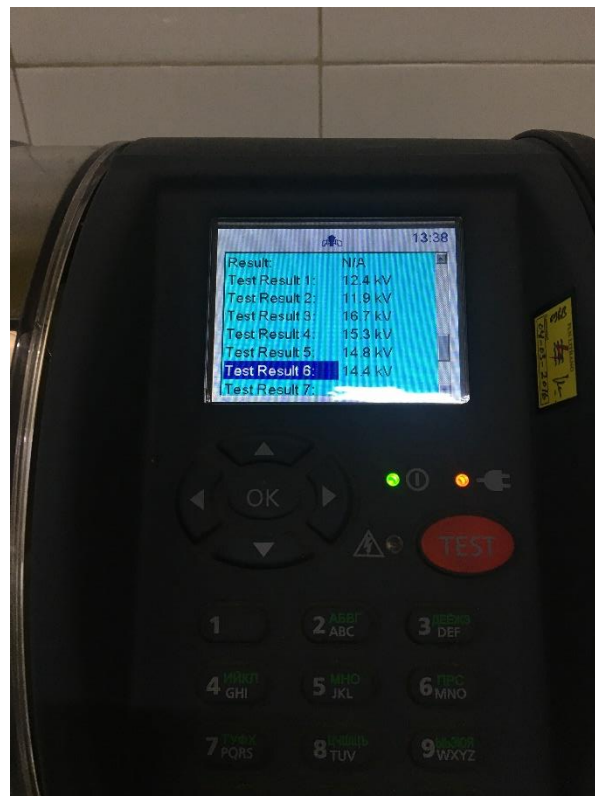
Perizui

Azella Putri
Azella Putri

Jakarta, 6 September 2017

Mengantulu

Yudi Murtaman
Yudi Murtaman



Tampilan Layar Hasil Pengujian Minyak Transformator Shell Diala B

**LAMPIRAN 4. HASIL DATA PENGUJIAN
KADAR AIR MINYAK TRANSFORMATOR**



PT. PLN (Persero)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT
LABORATORIUM CAWANG

PENGUJIAN KADAR AIR MINYAK TRANSFORMATOR

Merek Minyak Transformator	Suhu Minyak Transformator	Jumlah Kadar Air
Shell Diala S4 ZX-I	28°C	27,9 ppm
	40°C	25,45 ppm
	50°C	23,15 ppm
	60°C	21,45 ppm
	70°C	18,5 ppm
Nynas Nitro Libra	28°C	28,95 ppm
	40°C	27,8 ppm
	50°C	27,05 ppm
	60°C	25,7 ppm
	70°C	24,4 ppm
Shell Diala B	28°C	44,2 ppm
	40°C	40,5 ppm
	50°C	38,28 ppm
	60°C	32,5 ppm
	70°C	22,25 ppm

Penguji

Azelia Puteri

Jakarta, 25 September 2017
Mengetahui

Faldi Mursisman

Labsheet Pengujian Kadar Air Minyak Transformator Shell Diala S4 ZX-I,
Nynas Nitro Libra dan Shell Diala B

LAMPIRAN 5. DOKUMENTASI



Pengambilan Minyak Transfromator Baru



Pengambilan Minyak Transformator Baru



Pengambilan Minyak Transformator Bekas Pakai



Sampel Minyak Transformator



Pengujian Tegangan Tembus



Pengujian Tegangan Tembus

LAMPIRAN 6. SURAT-SURAT



**PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBU KOTA JAKARTA
DINAS PENDIDIKAN**

SMK NEGERI 34 JAKARTA

(Teknik Instalasi Tenaga Listrik-Teknik Pemesinan-Teknik Kendaraan Ringan- Tek. Speda Motor - Multimedia)

Jln. Kramat Raya No. 93 Jakarta Pusat 10440

Telp. 3909035 – 3928037 Fax. 3927963 e-mail : smkn_34jkt@yahoo.com

SURAT KETERANGAN SELESAI PRAKTEK KETERAMPILAN MENGAJAR (PKM)

Nomor : 694.C /-1.851.7

Mendasari surat dari Universitas Negeri Jakarta, No. 228/UN39.15/KM/2016 tertanggal 27 Juli 2016 tentang permohonan untuk melaksanakan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) , maka dengan ini Kepala Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 34 Jakarta menerangkan bahwa :

No	Nama	Program Studi
1	Asfan Azkarim	Teknik Elektro
2	Arif Gutama	Teknik Elektro
3	Azella Puteri	Teknik Elektro
4	Gina Aini Rahman	Teknik Elektro
5	Lestari Nurreta Hartanti	Teknik Elektro
6	Muhamad Rizki H	Teknik Elektro

nama - nama tersebut di atas adalah benar Mahasiswi Universitas Negeri Jakarta dan telah melaksanakan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 34 Jakarta pada tanggal 01 Agustus sampai dengan 11 November 2016.

Demikian surat keterangan ini diberikan, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Jakarta, 14 November 2016

Kepala Sekolah,

Dis. H. ANSYORI BUNYAMIN, M.Pd.
NIP. 196310051987031017



INDONESIA Sertifikat

No : 063 / PKL / UPJPTGP / 2016

Diberikan Kepada :
Azelia Ruteri

Teknik Elektro

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

Telah Melaksanakan

Praktek Kerja Lapangan / Penelitian Akademis

Di PT Indonesia Power

Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Priok

Pada Tanggal : 25 Juli – 25 Agustus 2016

Jakarta, 05 Januari 2017

General Manager
INDONESIA
PENERANGAN

T. Tjahjonooputro





*Building
Future
Leaders*

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

Kampus Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220
Telepon/Faximile : Rektor : (021) 4893854, PR I : 4895130, PR II : 4893918, PR III : 4892926, PR IV : 4893982
BUK : 4750930, BAKHUM : 4759081, BK : 4752180
Bagian UHT : Telepon, 4893726, Bagian Keuangan : 4892414, Bagian Kepegawaian : 4890536, Bagian Humas : 4898486
Laman : www.unj.ac.id

Nomor : 2961/UN39.12/KM/2017
Lamp. : -
Hal : Permohonan Izin Mengadakan Penelitian
untuk Penulisan Skripsi

19 Juni 2017

Yth. Bidang Pemeliharaan
Subbid Laboratorium dan Fasilitas Pemeliharaan
PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat
Jl. JCC No.1 Krukut, Limo, Cinere,
Jakarta Selatan

Kami mohon kesediaan Saudara untuk dapat menerima Mahasiswa Universitas Negeri Jakarta :

Nama : Azella Puteri
Nomor Registrasi : 5115136228
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Fakultas : Teknik Universitas Negeri Jakarta
No. Telp/HP : 085881651145

Dengan ini kami mohon diberikan ijin mahasiswa tersebut, untuk dapat mengadakan penelitian guna mendapatkan data yang diperlukan dalam rangka penulisan skripsi dengan judul :

"Pengaruh Perubahan Suhu dan Lama Waktu Pemanasan Minyak Terhadap Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator"

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami sampaikan terima kasih.

Kepala Biro Akademik, Kemahasiswaan,
dan Hubungan Masyarakat



Woro Sasmiyo, SH
NIP. 196304031985102001

Tembusan :
1. Dekan Fakultas Teknik
2. Koordinator Prodi Pendidikan Teknik Elektro



**PT PLN (PERSERO)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT**

Jl. JCC No. 1 Krakut Limo
Cinere 16514 - Jakarta Selatan
Telepon : (021) 7543566
Facsimile : (021) 7542380

Website :
Email : tjbb@pln.co.id

Nomor : 0571/SDM.04.09/TJBB/2017 28 Juli 2017
Surat Sdr :
Lampiran : 1 (satu) lbr
Sifat : Segera
Perihal : **Peretujuan Mengadakan Penelitian.**

KEPADA :
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
Jl. Rawamangun Muka
JAKARTA - 13220

u.p. Yth. Kepala Biro Akademik, Kemahasiswaan dan Humas

Menindaklanjuti surat dari Universitas Negeri Jakarta Nomor : 2961/UN39.12/KM/2017 tanggal 19 Juni 2017 perihal Permohonan Izin Mengadakan Penelitian untuk Penulisan Skripsi, Periode tanggal 25 Juli s.d 15 Agustus 2017 atas nama :

- **AZELIA PUTERI** N.Reg. : 5115136228 Teknik Elektro

Dengan ini diinformasikan agar mahasiswa tersebut dapat menghubungi :

**MANAJER PEMELIHARAAN TRANSMISI
PT PLN (PERSERO) TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT**

Jl. JCC Gandul, Cinere 16514, Jakarta Selatan

Demikian disampaikan, dan atas perhatiannya diucapkan terima kasih.





**PT PLN (PERSERO)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT**

Jl. JCC No. 1 Krukut Limo
Cinere 16514 - Jakarta Selatan
Telepon : (021) 7543566
Facsimile : (021) 7542380

Website :
Email : tjbb@pln.co.id

SURAT - KETERANGAN

Nomor: 0059.SKT/SDM.04.09/TJBB/2017

Dengan ini kami menerangkan, bahwa nama dibawah ini:

- **AZELIA PUTRI** **N.Reg : 5115136228**

Mahasiswi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta, benar telah mengadakan Penelitian di Bidang Pemeliharaan, Sub Bidang PDKB dan Fasilitas Pemeliharaan PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat pada tanggal 01 Agustus sampai dengan 15 September 2017. Selama mengadakan Penelitian yang bersangkutan telah berperilaku dengan baik.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagai mestinya.

Jakarta, 06 November 2017

MANAJER KEUANGAN, SDM
DAN ADMINISTRASI



RISMA ROYANI

RIWAYAT HIDUP



Azelia Puteri, akrab dipanggil Azel. Peneliti lahir di Jakarta, 15 Juli 1995. Anak pertama dari Bapak Nazril Datuk Paduko Rajo dan Ibu Nelly Zaili. Bertempat tinggal di Jalan Matraman dalam 3 RT 012/RW 007 No. 8, Kelurahan Pegangsaan, Kecamatan Menteng, Jakarta Pusat, 10320. Selama melaksanakan perkuliahan di Fakultas Teknik Univeritas Negeri Jakarta, Peneliti memiliki pengalaman Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Indonesia Power UPJP PRIOK pada bulan Juli-September 2016 dan Praktik Keterampilan Mengajar (PKM) di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 34 Jakarta pada bulan Agustus-Desember 2016.

Riwayat Pendidikan: SDS Miranti (2001-2007), SMPN 216 Jakarta pada tahun (2007-2010), SMAN 68 Jakarta (2010-2013) dan melanjutkan pendidikan di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro pada tahun 2013.

Riwayat Organisasi: Panitia pada acara malam keakraban Prodi Pendidikan Teknik Elektro (MAKRO) pada tahun 2015.

Akhirnya Peneliti telah menyelesaikan penelitian berjudul “Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Tembus Jenis Mineral“. Semoga dengan penelitian ini dapat memberikan pengetahuan serta kontribusi positif terhadap penelitian pada bidang Pembangkit Energi Listrik. Terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.