

**STUDI KARAKTERISTIK MINYAK
TRANSFORMATOR PADA BERBAGAI
PEMBEBANAN**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah satu
Syarat Ujian guna Menyelesaikan Studi pada
Program Pendidikan Diploma III
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

Disusun Oleh:

SARMAULI GULTOM 342 07 003

RAMDHANY EKA P.UNO 342 07 025

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR**

2010

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Karakteristik Minyak Trafo Pada Berbagai Pembebanan**”.

Oleh : 1. Sarmauli Gultom 34207003
2. Ramdhany Eka Pratiwi Uno 34207025

Program Studi : Teknik Konversi Energi

Jurusan : Teknik Mesin

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi pogram Diploma III (D3) pada Program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 03 November 2010

Menyetujui,

Pembimbing I



Muh. Yusuf Yunus, S.ST.,MT.
NIP : 19800820 200501 1 001

Pembimbing II,



Marhatang, S.ST.
NIP : 19741117 200212 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Muh. Tekad, S.T.,M.T.
Nip.19650824 199003 1 003

LEMBAR PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG

Pada hari ini, hari rabu, tanggal 3 November 2010, Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa :

Nama : Sarmauli Gultom 34207003


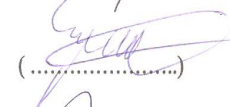

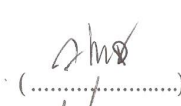

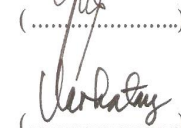
Ramdhany Eka Pratiwi Uno 34207025

Judul : **“Studi Karakteristik Minyak Trafo Pada Berbagai Pembebanan”.**

Telah diperiksa dan disahkan oleh Tim Penguji Tugas Akhir Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 3 November 2010

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

1. Ir. Lewi, MT.	Ketua	()
2. Sonong, ST, MT	Sekretaris	()
3. Ir. Herman N, MT.	Anggota I	()
4. Akhmad Taufik, ST, MT.	Anggota II	()
5. Muh. Yusuf Yunus, S.ST, MT.	Pembimbing I	()
6. Marhatang, S.ST.	Pembimbing II	()

ABSTRAK

Sarmauli Gultom, Ramdhany Eka Pratiwi Uno, Studi Karakteristik Minyak Transformator Pada Berbagai Pembebanan. (Dibimbing Oleh Muh. Yusuf Yunus, S.ST.,MT. dan Marhatang, S.ST.).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pembebanan terhadap karakteristik dielektrik minyak transformator, untuk mempelajari sifat viskositas dengan kandungan asam terhadap tingkat pembebanan minyak transformator dan untuk mengetahui pengaruh kenaikan dan penurunan temperature terhadap karakteristik tegangan tembus.

Minyak transformator merupakan media isolasi dan pendingin pada transformator. Isolasi memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Ketidakmurnian dapat muncul dalam minyak transformator baru akibat proses pembuatan atau selama proses penyimpanan maupun selama pemakaian akibat pengaruh lingkungan. Tegangan tembus adalah besarnya tegangan ketika tembus listrik terjadi di antara elektroda yang terpisah 2,5 mm.

Menurut standar pengujian berdasarkan Standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 untuk tegangan tembus dengan nilai diatas 120 kV/cm, viskositas dengan nilai 25 Cst dan kandungan asan dengan nilai 0,40 mg KOH/gr. Setelah melakukan pengujian yang sesuai dengan standar pengujian maka dimunculkan grafik dan pembahasannya dimana didapatkan hasil pengujian yang rata-rata memenuhi standar dari pengujian.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang diberikan selama ini kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan satu tugas berat dalam rangka penyelesaian studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Sebagai manusia biasa, penulis sangat menyadari bahwa Tugas Akhir yang sederhana ini masih banyak terdapat kekeliruan dan masih memerlukan perbaikan secara menyeluruh, hal ini tidak lain disebabkan karena keterbatasan ilmu dan kemampuan yang dimiliki oleh penulis dalam menyelesaikan tugas yang bagi penulis dirasakan cukup berat, karenanya berbagai masukan dan saran yang sifatnya membangun sangatlah diharapkan demi sempurnanya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses awal hingga selesainya Tugas Akhir ini, banyak sekali pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Tugas Akhir ini, karena itu pada tempatnyalah penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada mereka yang secara moril maupun materil telah banyak membantu penulis untuk merampungkan Tugas Akhir ini hingga selesai.

Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua beserta anggota keluarga lainnya yang kami cintai yang selalu setia mendoakan kami dan memberikan dorongan serta motivasi baik moril maupun materil sehingga Proyek Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Pirman, M.Si (Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang).
3. Muh. Tekad, S.T., MT (Ketua Jurusan Teknik Mesin).
4. Jamal, ST., MT (Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi).

5. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., MT selaku Pembimbing I dan Marhatang, S.ST selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya daam memberikan petunjuk, bimbingan, arahan serta dorongan moril dan materi.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurang waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar penulis.
7. Para Staf Pegawai dan Teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin yang dengan kesabaran telah banyak membantu penulis.
8. Rekan-rekan mahasiswa yang \pm 3 tahun lamanya bersama-sama dalam menimbah ilmu di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan berupa saran dan materi serta semangat baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhirnya, penulis memohon kepada Allah SWT, smoga memberikan perlindungan kepada kita semua dan apa yang kita dapatkan bernilai ibadah di sisiNya. Amin.

Makassar, November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENERIMAAN PENGUJI	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Isolasi.....	8
B. Definisi Minyak Trafo.....	11
C. Bahan Dasar Pembuatan Minyak Trafo.....	14
D. Jenis-Jenis Minyak Trafo.....	15
E. Karakteristik Dielektrik Minyak Trafo.....	17
F. Karakteristik Fisika Minyak Trafo.....	20
G. Karakteristik Kimia Minyak Trafo.....	23
H. Standar Pengujian Minyak Trafo.....	25
I. Rotemab Penelitian.....	25

BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Waktu dan Lokasi Kegiatan	27
B. Metode Pengambilan Data.....	27
C. Alat dan Bahan	28
1. Pengujian Tegangan Tembus	28
2. Pengujian Viskositas	29
3. Pengujian Kandungan Asam.....	30
D. Diagram Alir Penelitian	32
E. Prosedur Penelitian	33
1. Pengujian Tegangan Tembus	33
2. Pengujian Viskositas	34
3. Pengujian Kandungan Asam	34
F. Metode Analisa Data	36
1. Pengujian Tegangan Tembus	37
2. Pengujian Viskositas	37
3. Pengujian Kandungan Asam	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. Karakteristik Dielektrik Minyak Trafo	39
B. Karakteristik Kimia Minyak Trafo	55
C. Karakteristik Fisika Minyak Trafo	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
A. Kesimpulan.....	62
B. Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA..... 65

LAMPIRAN..... 67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Minyak Transformator Baru dan Bekas.....	12
Gambar 2. Alat Pengukuran Oil Tester	29
Gambar 3. Viskometer Brookfield	30
Gambar 4. Seperangkat Alat Refluks	31
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 6. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Tegangan Tembus pada Kenaikan Temperatur	44
Gambar 7. Grafik Hubungan antara Tegangan Tembus dengan Kenaikan Temperatur	45
Gambar 8. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Tegangan Tembus pada Penurunan Temperatur	51
Gambar 9. Grafik Hubungan antara Tegangan Tembus dengan Penurunan Temperatur	53
Gambar 10. Grafik Hubungan antara Persentasi beban dengan Angka Asam	57
Gambar 11. Grafik Hubungan antara Persentasi beban dengan Viskositas	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kekuatan Dielektrik Cair.....	20
Tabel 2. Standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 untuk Minyak Transformator	25
Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 30 ⁰ C.....	40
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 40 ⁰ C.....	40
Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50 ⁰ C.....	41
Tabel 6. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60 ⁰ C.....	41
Tabel 7. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 30 ⁰ C.....	42
Tabel 8. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 40 ⁰ C.....	42
Tabel 9. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50 ⁰ C.....	43
Tabel 10. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60 ⁰ C.....	43
Tabel 11. Data Pengujian Kenaikan Suhu dengan Tegangan Tembus.....	45
Tabel 12. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60 ⁰ C.....	47
Tabel 13. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50 ⁰ C.....	47
Tabel 14. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 40 ⁰ C.....	48
Tabel 15. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 30 ⁰ C.....	48
Tabel 16. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 60 ⁰ C.....	49
Tabel 17. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 50 ⁰ C.....	50
Tabel 18. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 40 ⁰ C.....	50
Tabel 19. Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada Suhu 30 ⁰ C.....	51
Tabel 20. Data Pengujian Penurunan Suhu dengan Tegangan Tembus	52

Tabel 21. Data Hasil Pengujian Kandungan Asam	55
Tabel 22. Tabel Hasil Pengujian Kandungan Asam.....	56
Tabel 23. Data Hasil Pengujian Viskositas.....	58
Tabel 24. Tabel Hasil Pengujian Viskositas.....	59



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik mulai pembangkitan, saluran transmisi sampai dengan pendistribusian tenaga listrik kepada pemakainya memerlukan suatu pengamanan agar sistem tersebut aman. Fungsi utama sistem tenaga listrik adalah untuk melayani energi listrik kepada para konsumennya secara berkesinambungan. Banyak komponen yang berpengaruh dalam menjaga sistem agar tetap beroperasi dan stabil. Beroperasinya transformator dengan baik merupakan salah satunya. Bahan listrik dalam sistem tenaga listrik merupakan salah satu elemen penting yang akan menentukan kualitas penyaluran energi listrik itu sendiri. Bahan listrik yang sangat populer selama ini meliputi konduktor, semi konduktor dan isolator.

Bahan listrik sudah digunakan oleh masyarakat luas untuk berbagai macam aplikasi peralatan listrik dan tentunya peralatan tersebut didukung oleh keamanan peralatan serta keamanan konsumen atau pengguna. Untuk itu pengguna harus mengetahui bahan isolasi yang ada dan memperhatikan ketepatan dalam pemilihan bahan oleh para pengguna. Pada kemajuan teknologi tegangan tinggi, isolasi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam teknik tegangan tinggi, Isolasi listrik sangat diperlukan untuk menunjang keandalan di dalam penyaluran tegangan listrik.

Sifat dan karakteristik bahan pada saat digunakan dalam sistem tenaga listrik mempunyai besaran yang sangat bervariasi mulai dari sifat fisik, mekanik maupun elektrik. Yang semuanya sangat berperan guna menganalisis karakteristik sistem secara keseluruhan. Salah satu sifat yang sangat penting adalah sifat kelistrikan. Namun demikian sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia serta sifat-sifat lainnya perlu juga diperhatikan. Salah satu bahan listrik yang sangat luas penggunaannya dalam sistem tenaga listrik adalah isolasi. Untuk itu diperlukan suatu informasi bagi pengguna agar dapat menentukan bahan-bahan isolasi yang digunakan pada peralatan listrik khususnya bahan isolasi cair yang merupakan bahan pengisi pada peralatan listrik seperti transformator, pemutus beban, rheostat.

Penggunaan minyak isolasi dewasa ini sangat luas sekali, terutama pada peralatan tinggi seperti transformator daya, pemutus tenaga, kapasitor dan kabel daya. Pada peralatan tinggi minyak isolasi berfungsi sebagai isolator, bahan pendingin dan pemadam busur api. Salah satu komponen transformator yang membutuhkan perhatian dan perawatan secara teratur adalah material isolasinya, terutama isolasi cair (minyak). Salah satu jenis isolator yang dipakai pada sistem tenaga listrik adalah isolator jenis cair yaitu minyak isolasi (isolator minyak) yang berfungsi sebagai media isolasi antara kumparan dengan kumparan dan antara kumparan dengan tangki transformator pada sebuah transformator. Isolator minyak banyak dipakai di pusat pembangkit, gardu induk transmisi dan gardu induk distribusi. Seiring dengan usia pengoperasian transformator serta tingkat pembebanan yang diberikan,

secara perlahan-lahan minyak transformator akan mengalami kemunduran kualitas minyak (*deterioration*). Kemunduran kualitas minyak trafo ini disebabkan oleh dua faktor yaitu adanya tegangan lebih (*electrical stress*) dan pemanasan (*thermal stress*) karena disipasi daya di dalam transformator serta umur minyak trafo itu sendiri. Sebagai akibatnya pada minyak akan timbul kontaminan yang dapat berupa partikel padat, partikel gas dan partikel cair. Dengan adanya kontaminan ini akan sangat merugikan karena dapat menurunkan kualitas dielektrik dari minyak transformator tersebut. Pada beban listrik dengan kapasitas yang berubah-ubah, pemanasan terjadi pada minyak juga akan ikut berubah-ubah, sehingga besarnya temperatur pun tidak tetap. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari minyak transformator, baik sebagai isolasi maupun sebagai penghantar panas. Bila hal ini berlangsung dalam waktu yang lama maka kenaikan temperatur akibat pola pembebanan yang tinggi maka akan merusak karakteristik dari minyak transformator tersebut. Dengan demikian pengaruh tingkat pembebanan transformator perlu diperhitungkan dalam proses perawatan minyak transformator.

Dengan tingkat pembebanan yang berlebihan dalam waktu tertentu dapat mengakibatkan rusaknya isolasi minyak transformator dan dapat mengakibatkan transformator terbakar atau mengalami kerusakan. Dengan demikian bahan isolasi haruslah mempunyai kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarannya dapat ditiadakan. Media dielektrik yang paling baik adalah ruangan vakum yang sifat hantarannya nol. Oleh karena itu bahan-bahan isolasi cair yang akan digunakan harus mempunyai tegangan

tembus dan daya hantar panas yang tinggi serta sifat listrik dan sifat kimia yang dapat menunjang ketahanan isolasi tersebut. Pemeliharaan minyak transformator secara berkala sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan isolasi dengan konsekuensi pemadaman. Sebuah transformator yang bekerja dengan baik selama sekian tahun, dapat mengalami kerusakan seketika disebabkan oleh kegagalan isolasi. Untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan temperatur dan kontaminan yang disebabkan tingkat pembebanan terhadap kualitas dielektrik minyak, maka perlu dilakukan kajian. Kajian ini mengacu pada beberapa parameter penentu kualitas minyak transformator seperti sifat listrik, sifat fisik dan sifat kimia. Parameter yang digunakan menentukan sifat listrik dari minyak transformator adalah tegangan tembus. Sedangkan untuk menentukan sifat fisik dan kimia diantaranya adalah viskositas dan kadar asam.

Bertitik tolak dari latar belakang di atas, maka kami akan mengangkat judul tugas akhir “*Studi Karakteristik Minyak Trafo Pada Berbagai Pembebanan*”.

B. Rumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap karakteristik dielektrik minyak transformator terutama tegangan tembus dengan tingkat pembebanan yang bervariasi terhadap kapasitas transformator?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap sifat fisika seperti viskositas dan sifat kimia seperti keasaman dengan tingkat pembebanan yang bervariasi terhadap kapasitas transformator?
3. Bagaimana pengaruh kenaikan dan penurunan temperatur terhadap karakteristik dielektrik minyak transformator ?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mempelajari pengaruh pembebanan terhadap karakteristik dielektrik minyak transformator terutama pada tegangan tembus pada 5 (lima) sampel minyak transformator dengan tingkat pembebanan yang bervariasi terhadap kapasitas transformator.
2. Untuk mempelajari sifat fisika seperti viskositas dan sifat kimia seperti keasaman pada 5 (lima) sampel minyak transformator dengan tingkat pembebanan yang bervariasi terhadap kapasitas transformator.
3. Untuk mengetahui pengaruh kenaikan dan penurunan temperatur terhadap karakteristik dielektrik minyak transformator dengan tingkat pembebanan yang bervariasi.

Sedangkan manfaat yang diperoleh adalah:

1. Sebagai bahan evaluasi PT. PLN (Persero) sehubungan dengan pemakaian minyak trafo dalam rangka memenuhi standar-standar pembebanan pada setiap daerah yang dibebani.
2. Sebagai sumber bagi perencanaan dan pengembangan pemakaian minyak trafo yang akan datang.
3. Penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan studi banding bagi penelitian-penelitian berikutnya dalam bidang isolasi pada transformator.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu isolasi yang umum digunakan pada peralatan tegangan tinggi adalah minyak trafo. Sistem tenaga listrik mulai pembangkitan, saluran transmisi sampai dengan pendistribusian tenaga listrik kepada pemakainya memerlukan suatu pengaman (isolator) agar sistem tersebut aman. Persoalan isolasi adalah salah satu dari beberapa persoalan yang terpenting dalam teknik tenaga listrik pada umumnya dan teknik tegangan tinggi pada khususnya. Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar (atau lebih) yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau dalam hal gradient tinggi, loncatan api (*flash over*). Isolator adalah alat listrik yang dipakai untuk menjalankan tugas mengisolasi.

Isolasi yang dipakai dalam setiap peralatan tenaga listrik, terutama peralatan tegangan tinggi, merupakan bagian terbesar dari pada biaya yang diperlukan untuk membuat peralatan tersebut. Oleh sebab itu pemakaian isolasi harus seekonomis mungkin, dengan tidak mengurangi kemampuannya sebagai isolator. Salah satu jenis isolator yang dipakai pada sistem tenaga listrik adalah isolator jenis cair yaitu minyak isolasi (isolator minyak). Isolator minyak banyak dipakai di pusat pembangkitan, gardu induk transmisi dan gardu induk distribusi. Peralatan yang menggunakan isolasi cair adalah transformator, *switchgear*, kapasitor, kabel, dan lain-lain.

A. Isolasi

Isolasi adalah suatu alat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah atau lebih penghantar sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau dalam gradien tinggi, lompatan api (*flashover*). Oleh karena itu persoalan isolasi adalah persoalan penting dalam sistem tenaga listrik umumnya dan khususnya pada teknik tegangan tinggi, hal ini dimaksudkan untuk pemakaian bahan isolasi yang sesuai dan penghematan dalam pemakaiannya adalah mutlak diperlukan dengan se-ekonomis mungkin dan tidak mengurangi kemampuannya sebagai isolator.

Bahan isolasi merupakan peralatan yang digunakan untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Bahan isolasi dibedakan menjadi: bahan isolasi gas, bahan isolasi padat, bahan isolasi cair. Dimana bahan-bahan isolasi ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Minyak isolasi merupakan salah satu bahan dielektrik yang mempunyai peranan penting dalam sistem kelistrikan, khususnya dalam bidang peralatan teknik tegangan tinggi. Dalam pembahasan kali ini kami akan lebih menekankan pada jenis bahan isolasi cair. (Drs. Muhaimin,1991)

Jenis-jenis Isolasi pada peralatan listrik ini sebagai berikut :

1. Isolasi Gas

Bahan isolasi adalah digunakan sebagai pengisolasi dan sekaligus sebagai media penyalur panas. Bahan gas yang biasa digunakan adalah udara dan sulfur hexafluida (SF_6).

2. Isolasi Cair

Bahan isolasi cair merupakan bahan pengisi pada beberapa peralatan listrik. Bahan isolasi cair ini biasanya digunakan pada peralatan seperti transformator, pemutus beban, rheostat. Bahan isolasi cair memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan atau pengisolasi dan juga sebagai pendingin. Persyaratan agar bahan cair dapat digunakan sebagai bahan isolasi adalah mempunyai tegangan tembus dan daya hantar panas yang tinggi.

Beberapa alasan digunakannya bahan isolasi cair adalah sebagai berikut:

- Isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen.
- Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi.

- Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*). Namun kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi.

Pada dasarnya suatu bagian yang aktif peralatan listrik harus diisolasi sehingga mempunyai sistem keamanan dan kenyamanan. Bahan isolasi cair (*liquid insulation material*) telah digunakan sebagai bahan pengisi pada peralatan-peralatan listrik seperti transformator, kapasitor, pemutus beban (*circuit breaker*). Fungsi bahan ini selain sebagai isolasi juga berfungsi sebagai pendingin bagi peralatan. Oleh karena itu bahan-bahan isolasi cair yang akan digunakan harus mempunyai tegangan tembus dan daya hantar panas yang tinggi serta sifat listrik dan sifat kimia yang dapat menunjang ketahanan isolasi tersebut.

3. Isolasi Padat

Bahan isolasi padat adalah bahan isolasi yang berbentuk padat. Ada beberapa jenis bahan isolasi padat seperti : kayu, kertas, mika, porselin, kaca, sitol, dan lain-lain.

Koordinasi isolasi dapat di definisikan sebagai korelasi antara daya isolasi alat-alat dan sirkuit listrik disatu pihak, dan karakteristik alat-alat pelindungnya dilain pihak, sehingga isolasi tersebut terlindung dari bahaya-bahaya tegangan lebih. Koordinasi isolasi dilakukan dengan menentukan kesesuaian yang diperlukan antara daya isolasi alat-alat listrik dan karakteristik alat-alat pelindung terhadap tegangan lebih, yang

masing-masing ditentukan oleh tingkat ketahanan impuls dan tingkat perlindungan impulsnya. Koordinasi isolasi mempunyai tujuan untuk perlindungan terhadap peralatan dan penghematan.

B. Definisi Minyak Trafo

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah yang diolah secara khusus sehingga mempunyai sifat-sifat sebagai isolator dan juga sebagai pendingin. Minyak transformator diperoleh dari hasil pengolahan minyak bumi dengan komposisi kimia dan fisik yang berbeda-beda sesuai dengan sumber dan pengolahannya. Minyak transformator harus memiliki kualitas yang sesuai dengan standar tertentu sebagai isolasi transformator. Hal ini ditunjukkan oleh karakteristik dielektrik minyak yang baik. Dalam pemakaiannya, minyak ini karena pengaruh panas dari rugi-rugi di dalam transformator akan timbul hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang utama dari isolator minyak ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik, dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, isolator minyak masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif (tambahan) meskipun kandungannya sangat kecil. Sebagian besar dari transformator tenaga memiliki kumparan-kumparan yang intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas.



Gambar 1. Minyak Transformator Baru dan Bekas

Ada beberapa fungsi pemakaian minyak pada transformator, terutama pada saat pengoperasian. Selain sebagai isolasi, minyak transformator juga berfungsi sebagai pendingin transformator serta sebagai pelindung inti dan belitan transformator dari kerusakan kimiawi. Agar berfungsi sebagai isolasi yang baik, minyak transformator harus bisa menjadi pemisah antara bagian-bagian yang memiliki beda tegangan. Hal ini dilakukan agar di antara bagian-bagian tersebut tidak terjadi lompatan listrik (*flash over*) atau pun percikan listrik (*spark over*). Terjadinya kegagalan pada isolasi peralatan tegangan tinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang bersangkutan, termasuk transformator. Dengan demikian dapat mengganggu proses penyediaan listrik ke konsumen.

Selama ini kegagalan pada transformator lebih banyak disebabkan oleh adanya ketidakmurnian (*impurity*) minyak. Ketidakmurnian ini bisa disebabkan oleh banyak hal, seperti adanya partikel padat, cair, ataupun gas yang terlarut di dalam minyak. Selain itu adanya tegangan lebih (*electrical*

stress) dan pemanasan (*thermal stress*) juga dapat memicu terjadinya kegagalan dan ketidakmurnian ini. Transformator sering dioperasikan untuk jangka waktu yang pendek di atas tegangan ratingnya atau untuk menahan sistem yang sedang mengalami transien karena peristiwa switching atau karena gelombang petir. Untuk itu komponen dari transformator, baik isolasi padat maupun minyak harus dapat beroperasi pada stress tegangan setinggi mungkin sehingga tidak mengganggu suplai energi ke konsumen. Minyak juga diperlukan untuk memberikan kontribusi yang penting terhadap efisiensi isolasi padat dengan cara masuk ke dalam dan mengisi celah kosong di antara lapisan isolasi belitan dan dengan cara meresap ke dalam kertas dan bahan isolasi yang berbahan selulosa lainnya.

Dalam pengoperasiannya, transformator akan menghasilkan panas karena terjadi rugi-rugi energi. Hal ini menyebabkan kenaikan temperatur pada inti dan belitan transformator. Keadaan ini akan mencapai kesetimbangan ketika panas yang dihasilkan sesegera mungkin dikeluarkan/dibuang. Untuk kebanyakan transformator, temperatur batas ini ditentukan dengan penggunaan isolasi kertas, yang harus dibatasi pada suatu daerah temperatur sekitar 100 °C. Hal inilah yang menyebabkan pendinginan yang efisien begitu penting dan untuk semua transformator baik transformator daya maupun transformator distribusi (kecuali transformator-transformator kecil) menggunakan cairan minyak sebagai pendingin. Agar minyak trafo berfungsi dengan baik, kualitas minyak harus sesuai dengan standar kebutuhan.

Minyak transformator harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

- Kekuatan isolasi tinggi
- Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- Sifat kimia yang stabil

C. Bahan Dasar Pembuatan Minyak Transformator

Bahan dasar untuk 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 ke bahan tersebut.

Berikut ini akan dijelaskan secara umum pembuatan minyak transformator mulai 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 lainnya, yang mana pemisahannya dilakukan disekitar pemboran. Selanjutnya cairan ini

disalurkan ke kilang-kilang untuk disuling dengan bahan-bahan yang dibutuhkan.

Klasifikasi hidrokarbon yang diperoleh dari minyak mentah ini dapat dibagi dalam 3 (tiga) tingkatan yaitu :

1. Paraffin, dengan rumus kimia C_nH_{2n+2}
2. Neptana, dengan rumus kimia C_nH_{2n}
3. Aromatik, dengan rumus kimia C_nH_n

Dalam minyak mentah, ketiga tingkatan diatas memiliki fungsi yang berbeda pada setiap unsurnya. Selanjutnya proses penyulingan juga akan berbeda sebagai produksi utama yang akan dihasilkan. Neptana adalah sebagai bahan dasar dalam pembuatan minyak transformator, minyak pelumas, minyak hidrolis, bahan kosmetik, keperluan farmasi dan sebagainya.

D. Jenis-jenis Minyak Transformator

Minyak isolasi terdiri dari beberapa jenis, baik dari segi pembuatannya maupun dari jenis bahannya. Pembagian dari jenis minyak isolasi ditentukan berdasarkan bahan dan cara pembuatannya. Pada saat ini minyak isolasi yang sering digunakan adalah :

1. Minyak Isolasi Mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak yang bahan dasarnya adalah dari minyak bumi atau minyak mentah yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini masih harus dimodifikasi agar tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik dan mempunyai karakteristik panas yang stabil serta memenuhi syarat-syarat teknis yang lainnya. Dalam hal ini minyak isolasi dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik, sebagai bahan pendingin dan sebagai pemadam busur api.

2. Minyak Isolasi Sintesis

Penggunaan minyak isolasi mineral masih mengalami keterbatasan-keterbatasan karena sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat dan sifat kimianya dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi. Penggunaan minyak isolasi sintesis untuk masa yang akan datang diharapkan dapat menutupi keterbatasan dari minyak isolasi mineral diatas. Oleh karena itu, saat ini sangat banyak dikembangkan penelitian tentang kemungkinan pemakaian dari beberapa jenis pemakaian isolasi sintesis pada peralatan tegangan tinggi.

E. Karakteristik Listrik Minyak Transformator (Tegangan Tembus)

Tegangan tembus adalah besarnya tegangan ketika tembus listrik terjadi di antara elektroda yang terpisah 2,5 mm pada laju kenaikan standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296. Tegangan tembus ini sangat tergantung pada kandungan kontaminan di dalam minyak, terutama air. Sedikit kenaikan kadar air di dalam minyak akan menyebabkan pengurangan yang tajam pada harga tegangan tembusnya. Proses tembus listrik pada minyak dengan pengaruh medan listrik melibatkan banyak faktor. Salah satunya adalah perpindahan bahan padat yang basah seperti fiber dan bahan kontaminan lain seperti air ke daerah yang bertekanan listrik di antara kedua elektroda. Jika hal ini terus berlanjut, maka akan terbentuk jembatan di antara kedua elektroda. Gelembung akan terbentuk sepanjang jembatan tersebut dan menyebabkan terjadinya konduksi, ionisasi dan terjadinya tembus.

Pemanasan atau kenaikan temperatur minyak isolasi, terjadi bila panas yang timbul lebih besar dari panas yang didisipasikannya, maka temperatur minyak isolasi akan naik. Apabila hal ini berlangsung terus menerus, maka dapat mengakibatkan struktur kimia minyak isolasi tersebut berubah. Dengan berubahnya struktur kimia minyak isolasi tersebut maka kekuatan dielektriknya pun akan berubah juga. Jadi kekuatan dielektrik minyak isolasi tergantung pada kenaikan suhu dielektriknya. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan pengujian secara teratur tentang kekuatan dielektrik minyak isolasi untuk menghindarkan kegagalan suatu bahan dielektrik yang digunakan pada peralatan listrik.

Tegangan tembus pada isolasi minyak baru lebih besar dibandingkan dengan isolasi minyak bekas. Hal ini disebabkan karena pada minyak bekas terdapat kandungan partikel-partikel dan uap air yang menyebabkan ketidakmurnian pada minyak. Apabila jumlah partikel yang melayang pada minyak sangat banyak, partikel-partikel tersebut akan membentuk semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda sehingga mengakibatkan terjadinya peristiwa kegagalan. Namun bila hanya terdapat sebuah partikel, partikel tersebut akan membuat perluasan area medan (*local field enhancement*) yang luasnya ditentukan oleh bentuk partikel itu sendiri. Jika perluasan area medan ini melebihi ketahanan benda cair, maka terjadilah peristiwa kegagalan setempat (*local breakdown*) yaitu terjadi di dekat partikel-partikel asing tersebut. Hal ini akan membuat terbentuknya gelembung-gelembung gas yang pada akhirnya juga menyebabkan peristiwa kegagalan pada minyak tersebut.

Pada minyak bekas cenderung memiliki kadar uap air yang lebih besar daripada minyak baru. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada saat medan listrik yang tinggi, molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu hidrokarbon. Jika jumlah molekul-molekul uap air banyak, maka akan terbentuk kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembus listrik. Ketidakmurnian ini sangat berpengaruh dalam kegagalan isolasi sehingga pada minyak bekas akan lebih mudah terjadi discharge dibandingkan dengan

minyak baru karena kekuatan isolasi minyak bekas sudah tidak sebgas minyak baru.

Kejadian tembus pada dielektrik cair masih menyimpan banyak misteri dan tidak sejelas dielektrik gas. Kehadiran gelembung gas (*buble*) dan partikel konduktif didalam dilektrik cair dianggap sebagai bertanggung jawab atas terjadinya tembus pada dielektrik cair. Gelembung gas akan tembus walaupun dielektrik cair masih sehat karena kekuatan tembus dielektrik cair lebih tinggi dari gas. Tembus didalam gelembung gas akan menghasilkan gas baru yang akan memperbanyak jumlah gelembung atau memperbesar ukuran gelembung gas dan juga dapat menimbulkan partikel konduktif akibat oksidasi selama tembus gas dalam gelembung berlangsung. Emisi elektron dari permukaan elektroda juga mungkin terjadi. Bila kejadian ini berlangsung terus menerus maka suatu saat dapat menjembatani kedua elektroda dan terjadilah tembus dielektrik cair.

Dalam pengujian dielektrik ini menggunakan pembagi tegangan kapasitif dimana terjadi tegangan tembus apabila suatu tegangan diberikan pada sepasang elektroda yang dicelupkan dalam isolasi zat cair, maka terlihat arus konduksi. Bila tegangan dinaikkan secara kontinu atau secara terus menerus, maka suatu tegangan krisis tertentu akan terjadi lucutan diantara kedua elektroda tersebut sampai sakelar ACB terputus dengan sendirinya maka nilai tegangan tembusnya dapat terbaca pada alat ukur oil tester. Impedansi karakteristik Z tidak perlu untuk mengukur tegangan AC pada frekuensi rendah, tetapi akan membantu pada tegangan transient yang

cepat selama terjadi tegangan tembus. Sehingga Ratio tegangan diberikan dengan rumus :

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 1. Kekuatan Dielektrik Cair

Material Dielektrik Cair	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)
Hexana	130
Benzen	110
Nitrogen Cair	170
Oksigen Cair	240
Minyak Transformator	150
Minyak Kapasitor	200
Askarel	200

F. Karakteristik Fisika Minyak Transformator (Viskositas)

Viskositas merupakan sifat fisik minyak yang tugasnya sebagai penghantar panas. Viskositas minyak adalah suatu hal yang sangat penting karena minyak transformator yang baik akan memiliki viskositas yang rendah, sehingga dapat bersirkulasi dengan baik dan akhirnya pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan baik pula.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat fisik dari minyak setelah dipakai. Pengujian ini meliputi uji kekentalan (*viskositas*). Viskositas minyak yang diinginkan adalah viskositas yang

rendah, sehingga dapat bersirkulasi dengan baik. Minyak transformator berfungsi sebagai pendingin yang baik, maka kekentalannya tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi di dalam tangki sehingga dapat mendinginkan transformator dengan lebih baik. Minyak transformator sebagai pendingin perlu diperhatikan kekentalannya tidak terlalu tinggi dan titik nyala cukup tinggi. Agar minyak dapat menghantar panas sebaiknya diperlukan viskositas serendah mungkin. Viskositas merupakan ukuran gesekan fluida internal yang cenderung berlawanan dengan setiap perubahan dinamik dalam gerak fluida. Jika fraksi atau gesekan antar lapisan-lapisan fluida kecil atau viskositas rendah, pemberian suatu gaya geser akan menghasilkan gradient kecepatan besar. Begitu viskositas bertambah, tiap lapisan fluida mengimbanginya dengan hambatan gesek (*frictional drag*) terhadap lapisan-lapisan yang bersebelahan sehingga gradient kecepatan berkurang. Satuan viskositas kinematik adalah stokes atau lebih umum memakai centistokes (Cst).

Pembuangan panas dari bagian-bagian peralatan yang bersuhu tinggi dipengaruhi oleh kemampuan alir cairan isolasi. Kenaikan temperatur akan mempengaruhi viskositas. Laju perubahan ini tergantung pada komposisi kimia minyak. Hidrokarbon aromatik mempunyai perubahan yang terbesar, selanjutnya naphthena dan terakhir hidrokarbon parafin. Viskositas yang tinggi pada temperatur rendah sangat tidak diharapkan karena akan mengganggu perpindahan dan pembuangan panas serta mempersulit sirkulasi minyak.

Ada beberapa viskometer yang sering digunakan untuk menentukan viskositas suatu larutan, tetapi dalam pengujian kami, menggunakan viskometer brookfield :

- Viskometer Oswald : Viskometer ini berfungsi untuk menentukan laju aliran kuat kapiler dan yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan oleh sejumlah cairan tertentu untuk mengalir melalui pipa kapiler dengan gaya yang disebabkan oleh cairan itu sendiri.
- Viskometer Hoppler : Viskometer ini berfungsi untuk menentukan laju bola dalam cairan dan yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah bola untuk melewati cairan pada jarak tertentu. Gaya yang diperlukan untuk memutar satu dari dua silinder yang konsentris pada kecepatan sudut tertentu.
- Viskometer Brookfield : Dalam viskometer ini sampel dimasukkan dalam ruang antara dinding luar bob atau rotor dan dinding dalam mangkuk (cup) yang pas dengan rotor tersebut. Berbagai alat yang tersedia berbeda dalam hal bagian yang berputar, ada alat dimana yang berputar adalah rotornya, ada juga bagian mangkuknya yang berputar. Prinsip pengukuran viskositas dengan alat ini adalah cairan uji dimasukkan kedalam mangkuk atau selongsong, rotor dipasang, kemudian alat dihidupkan. Viskositas zat cair dapat langsung dibaca pada skala.

G. Karakteristik Kimia Minyak Transformator (Kandungan Asam)

Kandungan asam didalam kimia dikenal dengan bilangan asam. Bilangan asam itu sendiri adalah jumlah milligram KOH (*Potassium Hydroxide*) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Satuan dari bilangan asam adalah milligram/gram minyak. Keasaman minyak lemak dan asam lemak dinyatakan sebagai jumlah ml alkali 0,1 N yang diperlukan untuk menetralkan asam bebas dalam 10,0 gram zat. Keasaman sering dinyatakan sebagai Bilangan Asam, Yaitu jumlah mg-kalium hidroksida yang diperlukan untuk menetralkan asam bebas dalam 1,0 gram zat. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi transformator akan menghasilkan produk-produk dari senyawa asam. Pengukuran berkala keasaman memberikan sebuah cara untuk memonitoring perkembangan oksidasi. Pembentukan endapan pada transformator yang merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya didahului oleh penambahan jumlah kandungan asam.

Bilangan asam dalam suatu larutan minyak trafo dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{(\text{ml KOH sampel} - \text{ml KOH blangko}) \times N \times \text{BM KOH}}{\text{Berat sampel (gr)}}$$

Dimana :

N = Jumlah ml alkali

BM = Berat Molekul

Lemak dan minyak atau secara kimiawi adalah trigliserida merupakan bagian terbesar dari kelompok lipid. Secara umum, lemak diartikan sebagai

trigliserida yang dalam kondisi suhu ruang berada dalam keadaan padat. Sedangkan minyak adalah trigliserida yang dalam suhu ruang berbentuk cair. Secara lebih pasti tidak ada batasan yang jelas untuk membedakan minyak dan lemak ini (Sudarmadji, 1989).

Dalam proses pembentukannya, trigliserida merupakan hasil proses kondensasi satu molekul gliserol dengan tiga molekul asam-asam lemak yang membentuk satu molekul trigliserida dan tiga molekul air (Sudarmadji, 1989).

Bilangan asam menunjukkan banyaknya asam lemak bebas dalam minyak dan dinyatakan dengan mg basa per 1 gram minyak. Bilangan asam juga merupakan parameter penting dalam penentuan kualitas minyak. Bilangan ini menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang ada dalam minyak akibat terjadi reaksi hidrolisis pada minyak terutama pada saat pengolahan. Asam lemak merupakan struktur kerangka dasar untuk kebanyakan bahan lipid (Agoes, 2008).

Lipid merupakan senyawa yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari gugus nonpolar. Sebagai akibat sifat-sifatnya, mereka mudah larut dalam pelarut nonpolar dan relatif tidak larut dalam air (Colby, 1988).

Asam lemak dalam sistem biologis biasanya mengandung jumlah atom karbon genap, khususnya antara 14 dan 24. Yang paling lazim adalah asam lemak dengan jumlah atom karbon 16 dan 18 (Lubert, 2000). Lipid merupakan konstituen diet penting bukan hanya karena nilai energinya yang tinggi melainkan juga karena adanya vitamin larut lemak dan asam lemak esensial di dalam lemak makanan.

H. Standar Pengujian Minyak Transformator

Minyak transformator mempunyai berbagai sifat listrik, kimia dan fisika. Dari sifat-sifat tersebut dibuat standar spesifikasi untuk minyak isolasi yang digunakan untuk transformator. Berikut ini adalah standar spesifikasi minyak transformator dari SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 untuk minyak transformator baru dan minyak transformator bekas, dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. Standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296

No.	Sifat Minyak Transformator	Satuan	Standar
1.	Tegangan Tembus	kV/cm	> 120
2.	Viskositas 20 ⁰ C	Cst	< 25
3.	Kandungan Asam	Mg KOH/gr	< 0,40

I. Roadmap Penelitian

Sebagai bahan acuan yang mendasari penelitian ini, penulis merujuk pada beberapa penelitian terdahulu yang membahas permasalahan minyak isolasi transformator adalah sebagai berikut :

1. Bambang Anggoro : Membahas korelasi antara kondisi minyak transformator dengan berbagai pembebanan pada transformator. Serta melakukan pengujian tegangan tembus, kadar asam dan viskositas. Yang diuji dengan keadaan sebelum dan sesudah dibebani, kemudian dapat dilihat kualitas minyak transformator.

2. Nosseir, A., dan rekan : Membahas efek temperatur terhadap probabilitas *breakdown* dari dielektrik. Menginventigasi bahwa tegangan tembus terhadap kenaikan temperatur akan meningkat sampai 60 °C dan menurun untuk temperatur yang lebih rendah.
3. Rachmad, A : Membahas perlakuan treatment terhadap sampel minyak transformator. Selanjutnya membandingkan hasil sebelum dan sesudah treatment.

Dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan seperti diatas, maka penulis melanjutkan penelitian yang sebelumnya dengan melakukan peninjauan pengaruh tingkat pembebanan terhadap karakteristik isolasi minyak transformator. Dengan tinjauan atau penelitian tingkat pembebanan ini diharapkan investigasi lebih detail sehingga hasil yang diperoleh akan lebih sempurna.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Kegiatan

Penelitian pengujian tegangan tembus ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) dan Laboratorium PLTU Sektor Tello sedangkan untuk pengujian viskositas atau kekentalan dan keasaman di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP). Waktu pelaksanaan penelitian adalah selama 3 bulan yaitu pada bulan Juli sampai Oktober 2010.

B. Metode Pengambilan Data

1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah dengan cara mencari informasi dari *manual book* sebagai referensi dan mempelajari literatur-literatur lain yang berhubungan dengan teknik tegangan tinggi yang memiliki kolerasi dengan penelitian yang akan dilakukan.

2. Observasi Lapangan/Laboratorium

Dengan melakukan pengujian sifat kelistrikan atau tegangan tembus di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan menggunakan tegangan tinggi AC dan Laboratorium PLTU Sektor Tello serta pengujian viskositas dan keasaman di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang serta melakukan

pengamatan serta pengambilan data objek yang ditinjau yaitu minyak trafo.

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Pengujian Tegangan Tembus pada Minyak Transformator

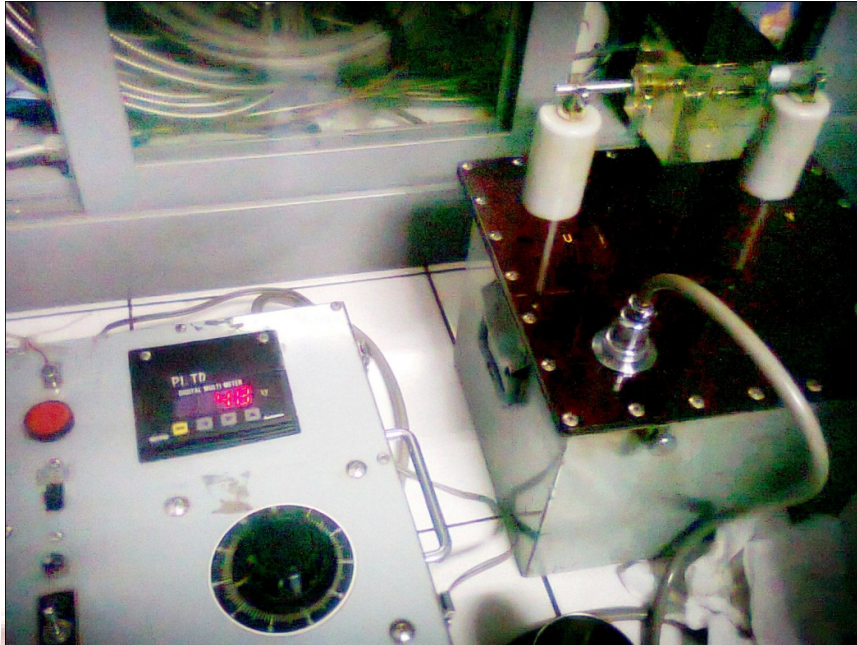
Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian tegangan tembus ini sebagai berikut :

a. Alat

- Seperangkat alat Oil Tester
- Heater (Pemanas)
- Termometer
- Kamera Digital
- Gelas
- Corong

b. Bahan

- Minyak Trafo dengan pembebanan 50 %, 60 %, 80%, 100 % dan Minyak Baru.



Gambar 2. Alat Pengukuran Oil Tester

2. Pengujian Viskositas Minyak Transformator

Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian viskositas ini sebagai berikut :

a. Alat

- Seperangkat alat uji viskometer brookfield model L-V
- Spindel
- Selongsong
- Stopwatch
- Kamera Digital

b. Bahan

- Minyak Trafo dengan pembebanan 50 %, 60 %, 80%, 100 % dan Minyak Baru.



Gambar 3. Viskometer Brookfield

3. Pengujian Keasaman pada Minyak Trafo

Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian tegangan tembus ini sebagai berikut :

a. Alat

- Neraca Analitik 4 Desimal
- Elemeyer
- Hot Plate
- Thermostat / Pendingin

- Buret
 - Pipet Volume 50 ml
 - Pipet Tetes
 - Alat Refluks
 - Kamera Digital
- b. Bahan
- Minyak Trafo dengan pembebanan 50 %, 60 %, 80%, 100 % dan Minyak Baru.
 - Indikator Penholphalen (PP)
 - Larutan Titrasi
 - Alkohol



Gambar 4. Seperangkat Alat Refluks

D. Diagram Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat, dibutuhkan diagram alir penelitian yang jelas. Diagram alir ini menggambarkan langkah-langkah penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

E. Prosedur Penelitian

1. Pengujian Dielektrik Bahan Minyak Trafo (Tegangan Tembus)

a. Langkah-langkah pengujian tegangan tembus pada penelitian ini sebagai berikut:

- Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- Membersihkan bejana yang akan dituangkan minyak trafo.
- Mengatur jarak elektroda 2,5 mm, kemudian menuangkan minyak trafo dalam bejana sebanyak 250 ml.
- Menutup bejana yang siap diuji.
- Meng-onkan sumber listrik kemudian menaikkan sakelar switch dan sakelar ACB pada oil tester.
- Memutar regulator pada oil tester sampai sakelar ACB memutuskan arus.
- Mencatat data kemudian menekan tombol reset pada posisi nol.
- Mendinginkan minyak selama 5 menit dan mengambil data berikutnya dengan menaikkan suhu dari 30⁰C - 60⁰C, begitu pula pengambilan data pada penurunan temperatur.

a. Metode Pengukuran

Pengujian tegangan tembus dengan menggunakan metode pengukuran pembagi tegangan kapasitif, dimana tegangan yang masuk dari sumber akan mengalir pada C_1 yang terhubung seri dengan C_2 . Sebelum terhubung ke alat ukur, kapasitor C_2 memiliki nilai yang besar akan tetapi nilai yang keluar pada pembacaan alat ukur bernilai kecil. Sedangkan nilai kapasitor C_1 yang bernilai kecil akan menghasilkan tegangan yang besar. Maka dapat disimpulkan bahwa kapasitor yang bernilai kecil maka menghasilkan tegangan yang besar, begitupun sebaliknya. Untuk itu kapasitor yang digunakan sebaiknya mempunyai nilai yang besar agar tegangan yang dihasilkan bernilai kecil. Untuk mendapatkan nilai ratio tegangan, maka kapasitor ukur C_1 yang bernilai 100 pF dan kapasitor C_2 yang bernilai 28 pF sehingga menghasilkan ratio tegangan yang bernilai 1,28.

Sehingga Ratio tegangan diberikan dengan rumus :

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{100 \text{ pF} + 28 \text{ pF}}{100 \text{ pF}} = \frac{128 \text{ pF}}{100 \text{ pF}} = 1,28$$

2. Pengujian secara Fisika Bahan Minyak Trafo (Viskositas)

Langkah-langkah pengujian viskositas pada penelitian ini sebagai berikut:

- Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- Memasukkan minyak kedalam selongsong sampai volume 35 ml.
- Memasang spindel yang sesuai untuk minyak trafo yaitu spindel I.
- Mencelupkan spindel kedalam selongsong yang sudah berisi sampel minyak trafo hingga tercelup sampai tanda batas atau pada permukaan sampelnya tercelup pada tanda batas.
- Menyiapkan stopwatch. Pada saat bersamaan tekan tombol on pada alat viskometer dan nyalakan stopwatch.
- Setelah spindel dibiarkan berputar selama 1 menit, matikan stopwatch.
- Kemudian membaca data-data.

3. Pengujian secara Kimia Bahan Minyak Trafo (Kandungan Asam)

Langkah-langkah pengujian keasamaan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- Menimbang 5-20 gram minyak trafo bekas dan baru dengan menggunakan neraca analitik.

- Mencampurkan 50 ml alkohol 95 % netral kemudian direfluks atau dipanaskan dan didinginkan selama 10 menit.
- Setelah dingin, campurkan indikator PP sebanyak 2-3 tetes, kemudian di titrasi dengan KOH 0,1 N sampai mengalami perubahan warna merah.
- Mencatat volume NaOH yang digunakan untuk titrasi sampel minyak trafo.
- Menghitung nilai keasaman sampel minyak trafo.

F. Metode Analisa Data

Secara umum, penelitian ini akan dianalisa secara deskriptif. Tetapi, pengujian dilakukan secara listrik dan secara kimiawi. Jenis-jenis minyak trafo yang akan diuji adalah jenis minyak trafo SHELL DIALA B yang diperoleh dari PT PLN Persero yaitu minyak trafo yang baru dan yang bekas dengan berbagai pembebanan (sampel telah digunakan selama 5 tahun). Minyak trafo tersebut akan diuji dengan menggunakan alat Oil Tester.

Sebagai tambahan, untuk memverifikasi hasil pengujian minyak trafo maka akan dilakukan pengujian secara kimiawi pada minyak trafo baru dan yang bekas dengan pengujian viskositas dan keasaman.

1. Pengujian Dielektrik pada Minyak Trafo (Tegangan Tembus)

Jenis-jenis minyak trafo yang telah lama digunakan dan yang baru akan diuji dengan menggunakan Oil Tester. Pengujian minyak trafo bekas dan minyak baru dilakukan dengan tegangan tembus lebih besar dari 120 kV/cm. Dari hasil pengamatan yang didapatkan akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{V}{d} \text{ (kV/cm)} \dots\dots\dots(2)$$

Hasil pengamatan penelitian akan dibuatkan grafik dan dideskripsikan sesuai dengan karakteristik dari minyak trafo.

2. Pengujian secara fisika pada minyak trafo (Viskositas)

Jenis-jenis minyak trafo yang terjadi pada jenis yang baru dan bekas akan dilakukan dengan pengujian viskositas. Pengujian minyak trafo bekas dan minyak baru dilakukan dengan nilai viskositas dibawah 25 Cst. Dari hasil pengamatan yang didapatkan akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Viskositas} = \text{Deal Reading} \times \text{Faktor Pengali} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

Deal reading (DR) = Pembacaan Skala pada Viskometer

Faktor Pengali = Nilai Pengali Viskometer

Hasil pengamatan penelitian akan dibuatkan grafik dan dideskripsikan sesuai dengan karakteristik dari minyak trafo.

3. Pengujian secara kimia pada minyak trafo (Kandungan Asam)

Jenis-jenis minyak trafo yang terjadi pada jenis yang baru dan bekas akan dilakukan dengan pengujian keasaman. Pengujian minyak trafo bekas dan minyak baru dilakukan dengan nilai keasaman dibawah 0,40 Mg KOH/gr. Dari hasil pengamatan yang didapatkan akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{(\text{ml KOH sampel} - \text{ml KOH blangko}) \times N \times \text{BM KOH}}{\text{Berat sampel (gr)}} \dots\dots(4)$$

Hasil pengamatan penelitian akan dibuatkan grafik dan dideskripsikan sesuai dengan karakteristik dari minyak trafo.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator

Pengujian karakteristik dielektrik meliputi pengukuran tegangan tembus (V_{BD}). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PLTU Sektor Tello. Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan mengacu pada standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 yaitu Nilai tegangan tembus untuk minyak transformator bekas dan minyak baru dengan tegangan tembus lebih besar dari 120 kV/cm.

1. Kenaikan Temperatur Minyak Transformator

Pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap pembebanan pada kenaikan temperatur 30°C – 60°C dari tabel 3-6 sebagai berikut :

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	25	20	20	22	23	22
2.	50	20	21	21	19	19	20
3.	60	14	11	14	14	11	12.8
4.	80	11	11	9	9	10	10
5.	100	11	9	8	9	9	9.2

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	34	40	36	43	36	37.8
2.	50	22	22	20	23	23	22
3.	60	16	20	22	15	14	17.4
4.	80	12	13	11	12	9	11.4
5.	100	11	11	10	11	11	10.8

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50⁰C

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	48	46	41	43	40	43.6
2.	50	25	24	22	28	21	24
3.	60	23	19	16	15	15	17.6
4.	80	14	14	18	19	19	16.8
5.	100	11	11	14	13	12	12.2

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	54	52	51	53	50	52
2.	50	36	36	30	35	31	33.6
3.	60	27	26	26	19	14	22.4
4.	80	16	19	18	19	17	17.8
5.	100	13	12	12	13	12	12.4

- a. Perhitungan nilai kekuatan dielektrik dari pengujian tegangan tembus minyak isolasi.

Dalam menghitung kekuatan dielektrik minyak isolasi dapat

dilakukan dengan mempergunakan rumus $E = \frac{V}{d}$ (kV/cm).

Contoh perhitungan dari tabel 3 (data 1) pada pembebanan 50 % dengan suhu 30⁰C.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{20}{0,25} = 20 \times 4 = 80 \text{ kV/cm}$$

Dengan cara yang sama kekuatan dielekterik dengan menggunakan metode perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel hasil analisa data .

Tabel 7. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	100	80	80	88	92	88
2.	50	80	84	84	76	76	80
3.	60	56	44	56	56	44	51,2
4.	80	44	44	36	36	40	40
5.	100	44	36	32	36	36	36,8

Tabel 8. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	136	160	144	172	144	151,2
2.	50	88	88	80	92	92	88
3.	60	64	80	88	60	56	69,8
4.	80	48	52	44	48	36	45,6
5.	100	44	44	40	44	44	43,2

Tabel 9. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	192	184	164	172	160	174,4
2.	50	100	96	88	112	84	96
3.	60	92	76	64	60	60	70,4
4.	80	56	56	72	76	76	67,2
5.	100	44	44	56	52	48	48,8

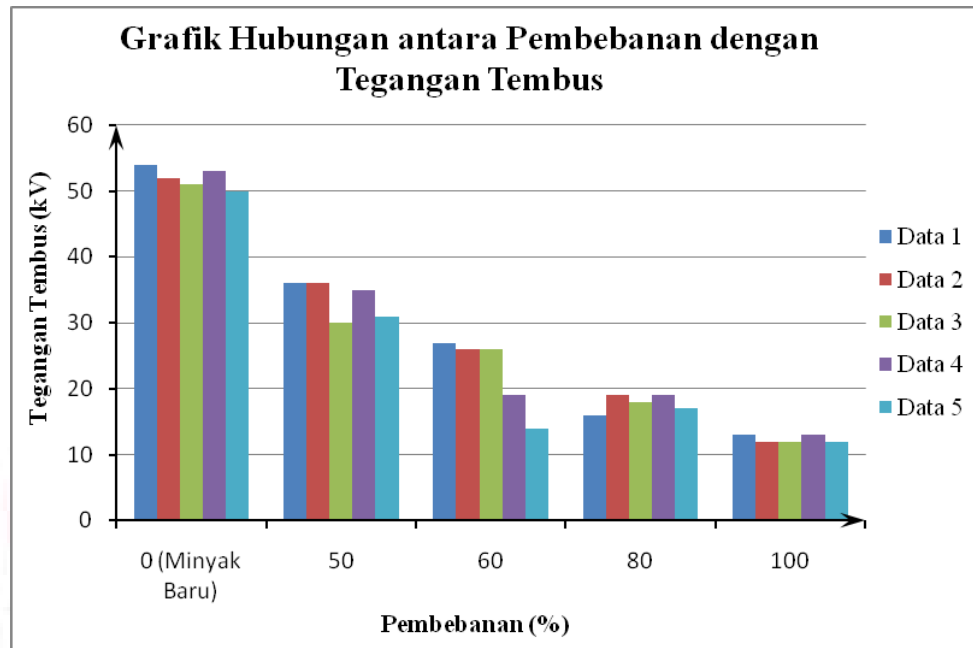
Tabel 10. Tabel Hasil Analisa Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	216	208	204	212	200	208
2.	50	144	144	120	140	124	134,4
3.	60	108	104	104	76	56	89,6
4.	80	64	76	72	76	68	71,2
5.	100	52	48	48	52	48	49,6

b. Grafik dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian tegangan tembus pada kenaikan temperatur dari 30⁰C – 60⁰C pada tabel di atas, maka dibuatkan diagram hubungan antara temperatur dengan tegangan tembus dan

diagram dibawah ini hubungan antara tegangan tembus dengan berbagai sampel pembebanan pada suhu 60°C.



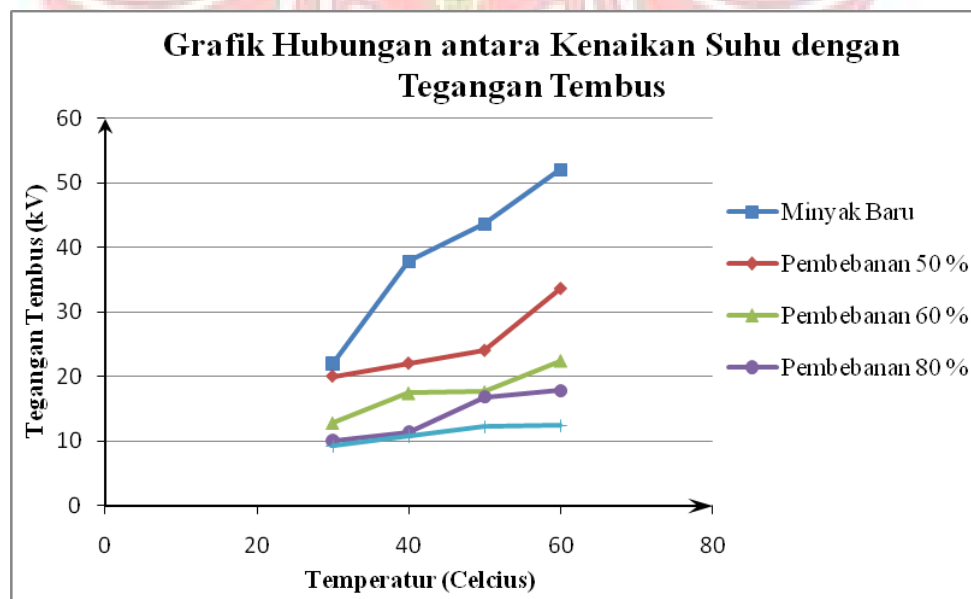
Gambar 6. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Tegangan Tembus pada kenaikan Temperatur

Dari gambar diagram hubungan antara tegangan tembus dengan pembebanan dapat dilihat variasi tegangan tembus untuk setiap sampel minyak dengan persen beban yang berbeda-beda, dimana terlihat bahwa semakin besar pembebanan yang digunakan maka akan semakin kecil nilai tegangan tembusnya. Tetapi pada minyak baru yang belum digunakan pada transformator maka nilai tegangan tembus yang diperoleh besar karena belum terdapat partikel pengotoranya dan kandungan air. Dari data diatas sampel pembebanan yang memiliki nilai tegangan tembus yang sesuai dengan standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 hanya sampel minyak yang

pembebanan 50 % dan sampel minyak baru yang memenuhi standar. Sedangkan tegangan tembus pada sampel minyak dengan pembebanan 60 %, 80 % dan 100 % tidak memenuhi standar disebabkan adanya kandungan air, kandungan gas dan adanya kotoran partikel padat dalam minyak sehingga menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator.

Tabel 11. Data Pengujian Kenaikan Suhu dengan Tegangan Tembus

No.	Sampel (%)	Kenaikan Suhu ($^{\circ}\text{C}$)			
		30	40	50	60
1.	Minyak Baru	22	37,8	43,6	52
2.	50	20	22	24	33,6
3.	60	12,8	17,4	17,6	22,4
4.	80	10	11,4	16,8	17,8
5.	100	9,2	10,8	12,2	12,4



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Tegangan Tembus dengan kenaikan Temperatur

Dari gambar diagram hubungan antara tegangan tembus dengan kenaikan temperatur dapat terlihat variasi tegangan tembus yang berbeda-beda. Dapat terlihat pada gambar diatas bahwa semakin meningkatnya temperatur maka tegangan tembusnya yang diperoleh juga meningkat atau besar. Hal ini terjadi pada semua sampel minyak transformator. Tegangan tembus pada semua sampel minyak dengan kenaikan suhu atau temperatur agak rendah, hal ini disebabkan adanya kandungan air pada minyak. Dari tabel data tegangan tembus diketahui bahwa minyak dengan tegangan tembus minimal yang mencapai standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 yang terjadi pada temperatur 40⁰C adalah minyak baru, sedangkan pada sampel minyak yang lainnya masih dibawah minimal standar tegangan tembus. Hal yang menyebabkan rendahnya kekuatan tegangan tembus minyak menunjukkan buruknya kualitas minyak disebabkan minyak-minyak tersebut telah dipakai dalam jangka waktu yang cukup lama . Faktor-faktor yang mempengaruhi turunnya kualitas minyak disebabkan tingginya kandungan air, adanya kotoran, adanya gas, tingginya tingkat keasaman dan penyimpanan minyak dalam jangka waktu yang lama.

2. Penurunan Temperatur Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus untuk penurunan temperatur dilakukan dengan mengacu pada standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 yaitu pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap pembebanan pada penurunan temperatur dari 60⁰C – 30⁰C.

Tabel 12. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	53	52	51	51	50	51.4
2.	50	28	32	34	36	33	32.6
3.	60	22	19	15	20	15	18.2
4.	80	18	15	18	18	20	17.8
5.	100	18	17	17	18	18	17.6

Tabel 13. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	46	44	43	41	41	43
2.	50	25	27	25	29	21	25.4
3.	60	17	17	18	18	17	17.4
4.	80	16	18	14	18	19	17
5.	100	13	16	17	18	15	15.8

Tabel 14. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	41	38	36	34	32	36.2
2.	50	18	19	22	21	20	20
3.	60	17	16	17	17	14	16.2
4.	80	15	15	14	13	16	14.6
5.	100	13	14	14	13	12	13.2

Tabel 15. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	24	22	22	21	20	21.8
2.	50	15	15	16	19	18	16.6
3.	60	15	12	14	13	15	13.8
4.	80	13	14	14	11	15	13.4
5.	100	12	11	11	11	12	11.4

- a. Perhitungan nilai kekuatan dielektrik dari pengujian tegangan tembus minyak isolasi.

Dalam menghitung kekuatan dielektrik minyak isolasi dapat dilakukan dengan mempergunakan rumus $E = \frac{V}{d}$ (kV/cm)

Contoh perhitungan dari tabel 3 (data 1) pada pembebanan 50 % dengan suhu 50⁰C.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{25}{0,25} = 25 \times 4 = 100 \text{ kV/cm}$$

Dengan cara yang sama kekuatan dielektrik dengan menggunakan metode perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel hasil analisa data.

Tabel 16. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	212	208	204	204	200	205,6
2.	50	112	128	136	144	132	130,4
3.	60	88	76	60	80	60	72,8
4.	80	72	60	72	72	80	71,2
5.	100	72	68	68	72	72	70,4

Tabel 17. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50°C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	184	176	172	164	164	172
2.	50	100	108	100	116	84	101,6
3.	60	68	68	72	72	68	68,4
4.	80	64	72	56	72	76	68
5.	100	52	64	68	72	60	63,2

Tabel 18. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40°C.

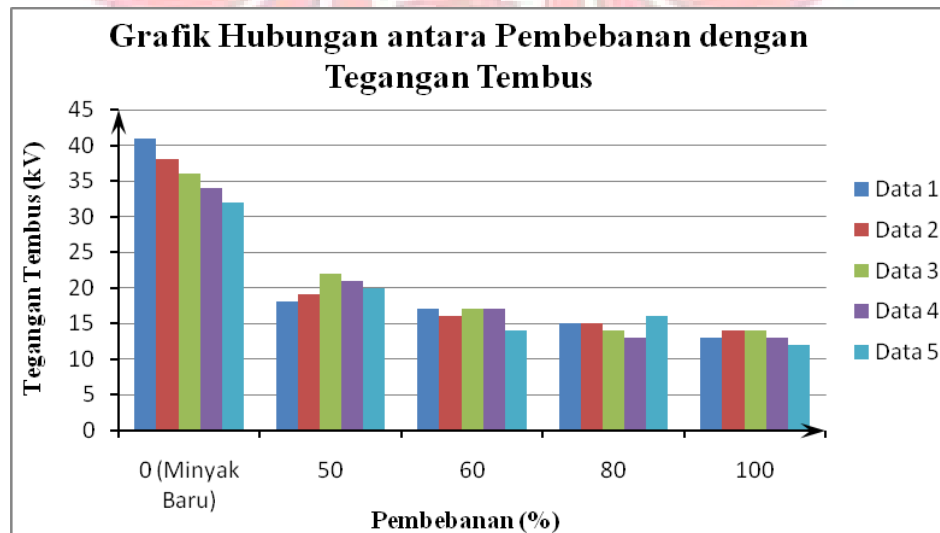
No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	164	152	144	136	128	144,8
2.	50	72	76	88	84	80	80
3.	60	68	64	68	68	56	64,8
4.	80	60	60	56	52	64	58,4
5.	100	52	56	56	52	48	52,8

Tabel 19. Tabel Hasil Analisa Data Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30°C.

No.	Pembebanan (%)	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	96	88	88	84	80	87,2
2.	50	60	60	64	76	72	66,4
3.	60	60	48	56	52	60	55,2
4.	80	52	56	56	44	60	53,6
5.	100	48	44	44	44	48	45,6

b. Grafik dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian tegangan tembus pada penurunan temperatur dari 60°C – 30°C pada tabel di atas, maka dibuatkan diagram hubungan antara temperatur dengan tegangan tembus dan grafik antara tegangan tembus dengan pembebanan dengan suhu 40°C.

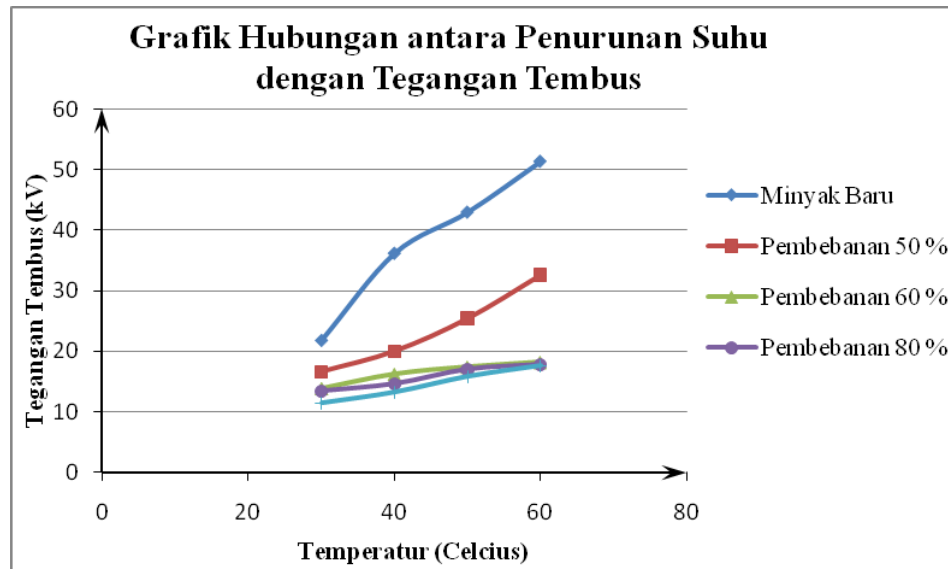


Gambar 8. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Tegangan Tembus pada penurunan Temperatur.

Dari gambar diagram dilihat variasi tegangan tembus untuk setiap sampel minyak dengan persen beban yang berbeda-beda, dimana terlihat bahwa semakin besar pembebanan yang digunakan maka akan semakin kecil nilai tegangan tembusnya. Tetapi pada minyak baru yang belum digunakan pada transformator maka nilai tegangan tembus yang diperoleh besar karena belum terdapat partikel pengotornya dan kandungan air. Dari data diatas sampel pembebanan yang memiliki nilai tegangan tembus yang sesuai dengan standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296, hanya sampel minyak baru. Sedangkan tegangan tembus pada sampel minyak dengan pembebanan 50 %, 60 %, 80 % dan 100 % tidak memenuhi standar, hal ini disebabkan adanya kandungan air, kandungan gas dan adanya kotoran partikel padat dalam minyak sehingga menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator.

Tabel 20. Data Pengujian Penurunan Suhu dengan Tegangan Tembus

No.	Sampel (%)	Penurunan Suhu (⁰ C)			
		60	50	40	30
1.	Minyak Baru	51,4	43	36,2	21,8
2.	50	32,6	25,4	20	16,6
3.	60	18,2	17,4	16,2	13,8
4.	80	17,8	17	14,6	13,4
5.	100	17,6	15,8	13,2	11,4



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Tegangan tembus dengan penurunan Temperatur.

Dari gambar diagram hubungan antara penurunan temperatur dengan tegangan tembus dapat terlihat variasi tegangan tembus. Dapat terlihat dari data diatas bahwa apabila terjadi penurunan temperatur maka tegangan tembus minyak juga menurun. Hal ini terjadi pada semua sampel minyak transformator. Dari tabel data diatas tegangan tembus minimal standar pada suhu 40°C yang memenuhi standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 adalah minyak baru. Sampel –sampel minyak yang tidak memenuhi standar tegangan tembus disebabkan tingginya kadar uap air dan partikel pengotor padat yang dapat berupa partikel debu atau komponen partikel lain seperti selulosa yang timbul akibat reaksi yang terjadi pada minyak transformator tersebut.

Dari kedua grafik kenaikan dan penurunan temperatur diatas diperoleh bahwa tegangan tembus cenderung naik dengan naiknya temperatur. Pengaruh kandungan air pada minyak mempengaruhi besarnya tegangan tembus, sehingga ketika minyak dipanaskan maka kandungan air tersebut akan menguap. Jika dibandingkan dengan grafik kedua diperoleh bahwa tegangan tembus pada saat penurunan temperatur lebih tinggi daripada tegangan tembus pada kenaikan suhu. Hal ini menekankan bahwa hilangnya kandungan air pada minyak transformator sehingga minyak semakin kuat tegangan tembusnya. Dimana air dapat timbul akibat pengaruh luar, tetapi biasa juga dipengaruhi oleh reaksi kimia didalam minyak. Apabila didalam minyak terdapat oksigen maka temperatur tertentu maka minyak akan bereaksi membentuk asam dan air. Pada kelima sampel, meskipun pemanasan dilakukan sampai pada temperatur yang sama, kadar uap air yang masih terlarut adalah tidak sama, hal ini pun tergantung dari usia pemakaian, lingkungan dan reaksi kimia yang terjadi pada minyak selama dioperasikan.

Pada minyak bekas cenderung memiliki kadar uap air yang lebih besar daripada minyak baru. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada saat medan listrik yang tinggi, molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu hidrokarbon. Jika jumlah molekul-molekul uap air banyak, maka akan terbentuk kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembus listrik. Ketidakmurnian ini sangat berpengaruh dalam kegagalan isolasi sehingga pada minyak bekas akan lebih mudah terjadi *discharge* dibandingkan dengan

minyak baru karena kekuatan isolasi minyak bekas sudah tidak sebagus minyak baru.

B. Pengujian Sifat Kimia Minyak Transformator

Pengujian karakteristik kimia ini meliputi pengujian kandungan asam dilakukan dengan mengacu pada standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296 yaitu metode pengujian standar untuk angka asam. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian kandungan asam :

Tabel 21. Data Hasil Pengujian Kandungan Asam

No.	Sampel (%)	Berat Sampel (gr)	Volume NaOH (ml)
1.	Minyak Baru	20,0030	0,2
2.	50	20,0026	1,0
3.	60	20,0023	1,1
4.	80	20,0152	1,2
5.	100	20,0222	1,3
6.	Blangko Alkohol	20	0,15

Dari data hasil pengujian diatas maka kandungan asamnya dapat dihitung pada data no 1, dapat diketahui :

KOH Sampel : 1,0 ml

KOH Blangko : 0,15 ml

N KOH : 0,1001

BM KOH : 56,1

Berat Sampel : 20,0026

Untuk mendapatkan angka keasamannya, maka Persamaannya sebagai Berikut :

$$\begin{aligned} \text{Angka Asam} &= \frac{(\text{ml KOH sampel} - \text{ml KOH Blangko}) \times N \times \text{BM KOH}}{\text{Berat Sampel (gr)}} \\ &= \frac{(1,0 - 0,15) \times 0,1001 \times 56,1}{20,0026} = 0,238 \text{ mg KOH/gr} \end{aligned}$$

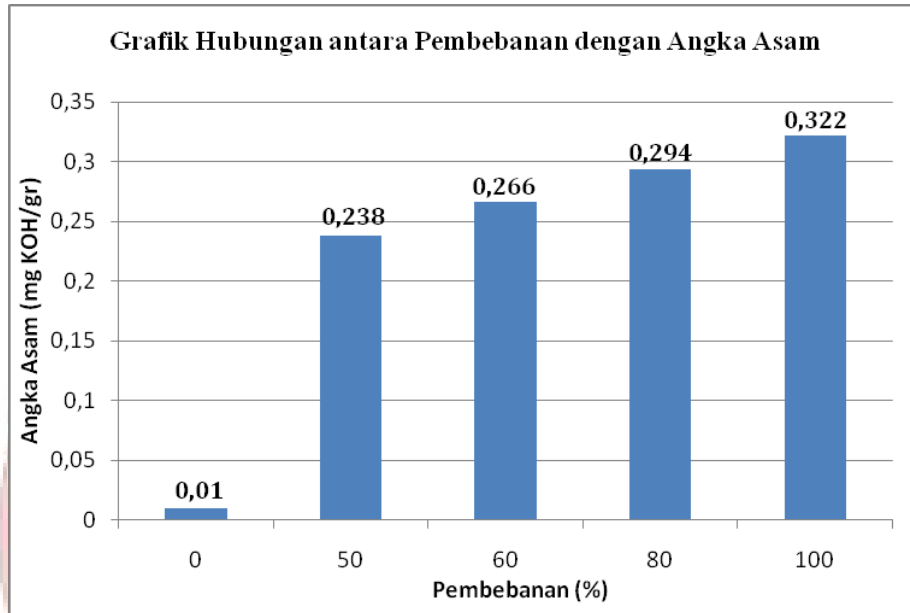
Dengan cara yang sama, diperoleh hasil analisa data yang lain selengkapnya dapat dilihat pada Tabel Hasil Analisa Data.

Tabel 22. Tabel Hasil Analisa Data

No.	Sampel (%)	Berat Sampel (gr)	Volume NaOH (ml)	Angka Asam (mg KOH/gr)
1.	Minyak Baru	20,0030	0,2	0,01
2.	50	20,0026	1,0	0,238
3.	60	20,0023	1,1	0,266
4.	80	20,0152	1,2	0,294
5.	100	20,0222	1,3	0,322
6.	Blangko Alkohol	20	0,15	-

Dalam pengujian kandungan asam ini diambil lima sampel yang mewakili dari berbagai persentasi beban. Berdasarkan data hasil pengujian kandungan asam pada tabel diatas, maka dibuatkan grafik hubungan antara

kandungan asam dengan pengaruh pembebanan (persen beban) yang disertai dengan pembahasannya, sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik Hubungan antara Persentase Beban dengan Angka Asam

Dari gambar diagram diatas dapat diketahui bahwa besar persentase pembebanan dapat menyebabkan kandungan asam juga meningkat. Pada minyak transformator bekas yang mempunyai angka asam lebih tinggi dibandingkan dengan minyak transformator baru, hal ini disebabkan bahwa minyak transformator tersebut telah teroksidasi atau terkontaminasi dengan material seperti cat atau zat-zat asing. Dengan meningkatnya kandungan asam dalam isolasi minyak maka kualitas dari minyak tersebut akan menurun. Dengan demikian minyak perlu mendapatkan treatment seperti proses pemurnian, proses penyaringan (*filtering*) atau pergantian minyak apabila kondisi minyak sudah sangat parah atau tidak layak dipakai lagi. Dari

hasil pengujian, dapat dilihat bahwa kandungan asam dari kelima sampel minyak transformator bekas dan minyak baru memenuhi standar yang diperbolehkan yaitu 0,40 mg KOH/gr sehingga dari kelima sampel minyak transformator masih dalam kondisi normal dan masih layak dipakai.

C. Pengujian Sifat Fisika Minyak Transformator

Pengujian karakteristik fisika ini meliputi pengujian kekentalan (*viskositas*). Pengujian viskositas memakai proses standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296, pengujian standar untuk viskositas pada minyak transformator. Pengukuran viskositas dilakukan pada suhu 20⁰ C, maka hasil dari pengujian viskositas dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 23. Data Hasil Pengujian Viskositas

No.	Sampel (%)	Faktor Pengali	RPM	Deal Reading
1.	Minyak Baru	2	30	11,2
2.	50	2	30	11
3.	60	2	30	10,9
4.	80	2	30	15,9
5.	100	2	30	16,9

Dari data hasil pengujian diatas maka viskositasnya dapat dihitung pada data no 1, dapat diketahui :

Deal Reading : 11

Faktor Pengali : 2

Untuk mendapatkan nilai viskositasnya, maka Persamaannya sebagai Berikut :

$$\text{Viskositas} = \text{Deal Reading} \times \text{Faktor Pengali}$$

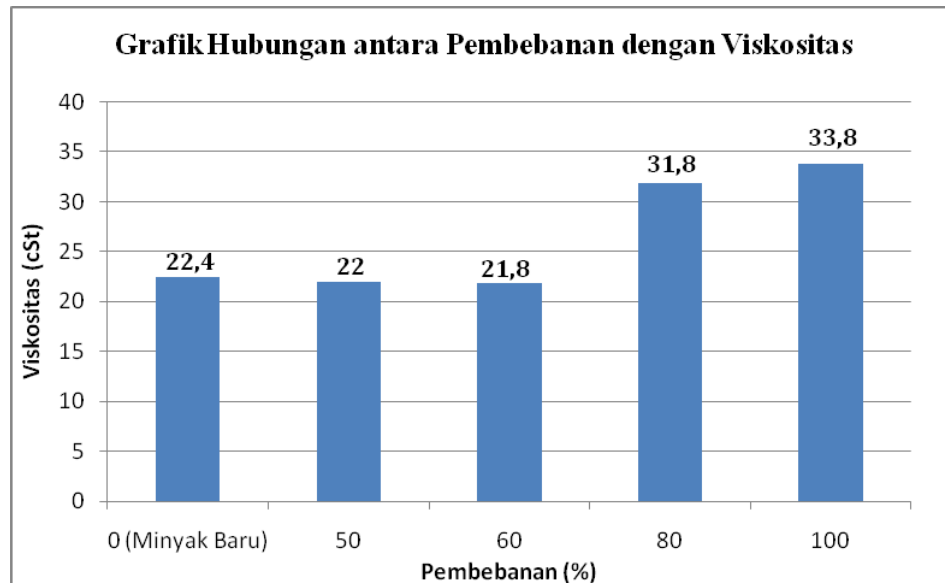
$$= 11 \times 2 = 22 \text{ Cst}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil analisa data yang lain selengkapnya dapat dilihat pada Tabel Hasil Analisa Data.

Tabel 24. Data Hasil Analisa Data

No.	Sampel (%)	Faktor Pengali	Deal Reading	Viskositas (cSt)
1.	Minyak Baru	2	11,2	22,4
2.	50	2	11	22
3.	60	2	10,9	21,8
4.	80	2	15,9	31,8
5.	100	2	16,9	33,8

Dalam pengujian viskositas ini diambil lima sampel yang mewakili dari berbagai persentasi beban. Berdasarkan data hasil pengujian viskositas pada tabel diatas, maka dibuatkan grafik hubungan antara viskositas dengan pengaruh pembebanan (persen beban) yang disertai dengan pembahasannya, sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Viskositas

Dari gambar diagram diatas dapat dikatakan bahwa hasil yang viskositas sampel minyak transformator dengan beban yang besar lebih tinggi dibandingkan nilai viskositas sampel minyak dengan beban yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sampel minyak dengan persentasi beban yang lebih tinggi, maka karakteristik fisika atau nilai viskositasnya dari sampel minyak menurun. Hal ini disebabkan oleh oksidasi yang terjadi pada minyak sehingga terdapat endapan partikel-partikel pengotor yang dapat meningkatkan nilai viskositas dari sampel minyak transformator tersebut. Endapan terbentuk sebagai proses hasil akhir dari proses oksidasi. Proses oksidasi terjadi karena perubahan temperatur didalam minyak yang menghasilkan asam. Seiring bertambahnya waktu operasi minyak transformator maka endapan didalam minyak akan semakin banyak sehingga menyebabkan viskositasnya menjadi naik. Dengan demikian minyak perlu

mendapatkan treatment seperti proses pemurnian, proses penyaringan (*filtering*) atau pergantian minyak. Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa viskositas dari ketiga sampel yaitu persentase beban 50 %, 60 % dan minyak baru masih memenuhi standar yang diperbolehkan yaitu 22 Cst sehingga masih dapat digunakan sedangkan pada dua sampel dengan persentase beban 80 % dan 100 % tidak memenuhi standar SPLN 49-1: 1982, Metode Uji IEC 296, hal ini disebabkan karena pembebanannya yang besar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir kami dapat menarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian kenaikan temperatur, nilai tegangan tembus yang maksimum diperoleh pada temperatur 60° C, sampel minyak baru yaitu 52 kV dengan kekuatan dielektriknya 208 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 50 % yaitu 33,6 kV dengan kekuatan dielektriknya 134,4 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 60 % yaitu 22,4 kV dengan kekuatan dielektriknya 89,6 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 80 % yaitu 17,8 kV dengan kekuatan dielektriknya 71,2 dan tegangan tembus pada pembebanan 100 % yaitu 12,4 dengan kekuatan dielektriknya 49,6 kV/cm.
2. Pada pengujian penurunan temperatur, nilai tegangan tembus yang maksimum juga diperoleh pada temperatur 60° C, sampel minyak baru yaitu 51,4 kV dengan kekuatan dielektriknya 205,6 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 50 % yaitu 32,6 kV dengan kekuatan dielektriknya 130,4 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 60 % yaitu 18,2 kV dengan kekuatan dielektriknya 72,8 kV/cm, tegangan tembus pada pembebanan 80 % yaitu 17,8 kV dengan kekuatan dielektriknya 71,2 dan

tegangan tembus pada pembebanan 100 % yaitu 17,6 dengan kekuatan dielektriknya 70,4 kV/cm.

3. Pada pengujian viskositas yang memenuhi standar sebesar 25 Cst pada sampel minyak dengan pembebanan 50 %, 60 % dan minyak baru, sedangkan pengujian kandungan asam untuk semua sampel minyak transformator memenuhi standar yaitu dibawah 0,40 mg KOH/gr.
4. Parameter-parameter yang dianalisis yaitu nilai tegangan tembus, kekuatan dielektriknya dalam sifat hantaran listrik, viskositas atau kekentalan dan kandungan asam.
5. Faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan atau kemunduran kualitas minyak transformator adalah dengan tegangan yang berlebihan, pemanasan yang tinggi, luasan daerah elektroda, jarak elektroda yang jauh dan penyimpanan minyak trafo dalam waktu yang lama.



B. Saran

Saran yang dapat kami berikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mencegah kerusakan isolasi minyak transformator maka sebaiknya dilakukan pemeliharaan secara berkala khususnya transformator yang berbeban tinggi, karena persentase pembebanan yang lebih tinggi mempercepat kerusakan isolasi minyak transformator.
2. Memperbanyak sampel minyak yang akan diuji baik itu berdasarkan berbagai persentase beban sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih baik dan akurat serta melakukan pengujian kandungan air dalam minyak transformator.
3. Pemeliharaan terhadap transformator dapat dilakukan secara berkala dan teratur melalui filtering serta pemurnian minyak transformator sehingga meremajakan minyak transformator dan dapat dipakai kembali sebagai minyak isolasi transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Salam M., Anis H., "High Voltage Engineering Theory and Practice", Second Ed., Marcel Pekker Inc, NY Basel, 2000.
- Arigayota Abdul Rahman dan Ferry Nugraha, *Minyak Berbahan Dasar Parafinik dan naftenik*, Energi dan Listrik Volume 1, April 1991.
- Arismunandar, Artono., "Teknik Tegangan Tinggi" PT. Pradnya Pramita : Jakarta, 2001.
- Carl S. Minner [and] N.N.Dalton.Glycerol.American Chemical Society Monograph Series, New York, 1953.
- DR. Ir. Bambang Anggoro. " Korelasi Antara Kondisi Minyak Transformator Dengan Beban untuk Berbagai Jenis Transformator Daya". Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi 2002.
- Fali, A., "Karakteristik Dielektrik dan Partial Discharge Minyak Transformator Shell Dialla B dengan Berbagai Tingkat Warna", *TesisMagister*, Elektro ITB,2003.
- Feld and Huhn, GmbH. Operation of hidrollsys crude palm oil. Bendory, 1998.
Lurgi. GmbH.Operation manual of hidrolisys crude palm kernel oil. Frankurt, 1991.
- Heatcote, Martin J, "The J&P Transformer Book". Jhonson and Philips Ltd, 12th Edition, 1998.
- Huang C.Y., "A New Data Mining Approach to Dissolved Gas analysis of Oil Insulated Power Apparatus", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 18 No 4, 2003.
- Hudaya, A. dan Nugraha, F., "Deteksi dan Intepretasi Gangguan Berdasarkan Data dan Analisis Kimia Gas dalam Minyak", *Energi & Listrik*, Volume III No. 4. Maret 1994.
- IEC Publication 156. "Insulating Liquids – Determination of The Breakdown Voltage at Power Frequency – Test Method". 1995.
- IEC Publication 247. "Measurement of relativity permittivity, dielectric dissipation factor and DC Resistivity of Insulating Liquids". 1978.

IEEE “Guide for interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformer”, 1992.

Kurnia, D., “Studi Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator Jenis Shell Dialla B”, Tugas Akhir, Elektro ITB, 2004.

Malik, N.H., “Electrical Insulation in Power Systems”, Marcell Dekker, New York, 1998.

Naidu, M., S., and Kamaraju, V., “High Voltage Engineering”, Second Ed., Tata Mc Graw Hill Company Limited, New Delhi, 2000.

N.H.Malik, A.A.Al-Arainy, M.I.Qureshi, “Electrical Insulation in Power System”, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998.

Panduan Pengujian Tegangan Tinggi, Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Patterson. H. B. W. Bleaching and purifying fats and oils. ADCS Press, Illionis, 1992.

S.D.Myers, J.J.Kelly, R.H.Parrish, “A Guide To Transformer Maintenance”, Transformer Maintenance Institute, Division of S.D.Myers, Inc., Akron, Ohio, 1981.

SPLN 49-1 : 1982, “Minyak Isolasi-Pedoman Penerapan Spesifikasi dan pemeliharaan Minyak Isolasi”, Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara, 1982.

Suwarno. “Diktat Kuliah Material Elektroteknik”, Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung. 1999.

Thomas. H. Applewhite. Bailey industrial oil and fat products. volume-3, Thon Wiley & Son, New York, 1985.

Tobing, Bonggas L, “Peralatan Tegangan Tinggi” PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta, 2003.

Zuhal, “Dasar Tenaga Listrik”, Penerbit ITB, Bandung 1977

**L
A
M
P
I
R
A
N
T
A
B
E
L**



VI LAMPIRAN

Data pengujian tegangan tembus dengan kenaikan temperatur yang diuji di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	7	8	8	8	9	8
2.	50	10	10	11	11	12	10,8
3.	60	9	10	10	10	10	9,8
4.	80	6	7	7	7	7	6,8
5.	100	2	4	3	4	4	3,4

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	16	17	17	17	17	16,8
2.	50	14	15	16	17	18	16
3.	60	16	16	16	16	17	16,2
4.	80	14	14	15	15	16	14,8
5.	100	5	5	5	5	6	5,2

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	18	18	19	20	20	19
2.	50	16	18	18	18	18	17,6
3.	60	16	17	17	17	17	16,8
4.	80	16	17	17	17	17	16,8
5.	100	6	5	5	6	7	5,8

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	20	21	22	22	23	21,6
2.	50	18	18	18	19	19	18,4
3.	60	17	17	17	18	18	17,4
4.	80	17	17	17	17	18	17,2
5.	100	7	8	8	9	9	8,2

Data pengujian tegangan tembus dengan penurunan temperatur yang diuji di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 60⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	18	18	18	18	17	17,8
2.	50	19	19	18	18	18	18,4
3.	60	18	17	17	17	16	17
4.	80	18	18	18	17	17	17,6
5.	100	8	8	7	7	7	7,4

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 50⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	17	17	17	16	16	16,6
2.	50	18	17	17	16	16	16,8
3.	60	17	17	16	16	15	16,2
4.	80	17	17	17	16	16	16,6
5.	100	7	6	6	5	5	5,8

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 40⁰C.

No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	14	12	12	12	11	12,2
2.	50	16	16	16	15	15	15,6
3.	60	15	14	14	13	13	13,8
4.	80	16	16	16	15	15	15,6
5.	100	5	4	4	4	3	4

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus pada suhu 30⁰C.

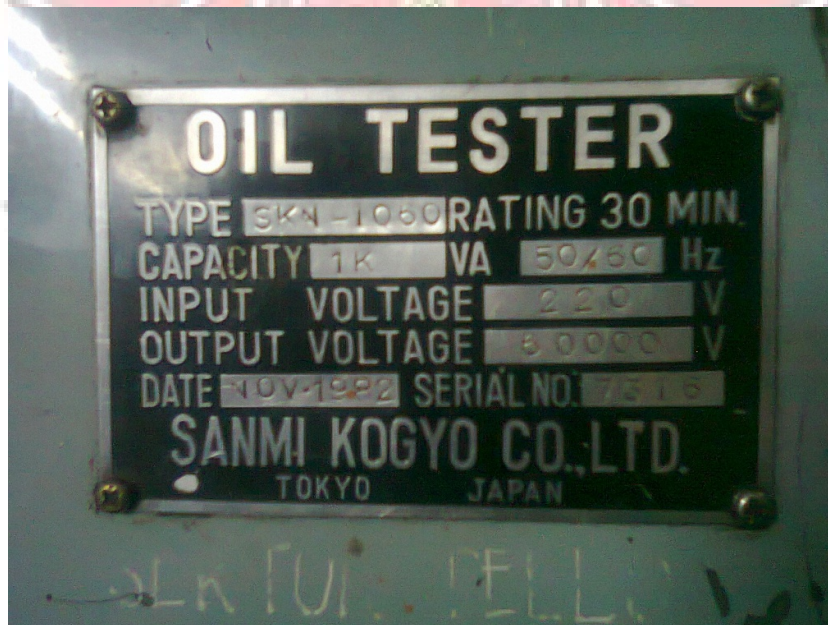
No.	Pembebanan (%)	Tegangan Tembus (kV)					
		1	2	3	4	5	Rata-rata
1.	0 (Minyak Baru)	10	9	8	8	7	8,4
2.	50	11	10	10	10	10	10,2
3.	60	11	10	10	10	9	10
4.	80	14	13	13	12	12	12,8
5.	100	3	3	3	2	2	2,6

L A M P I R A N F O T O

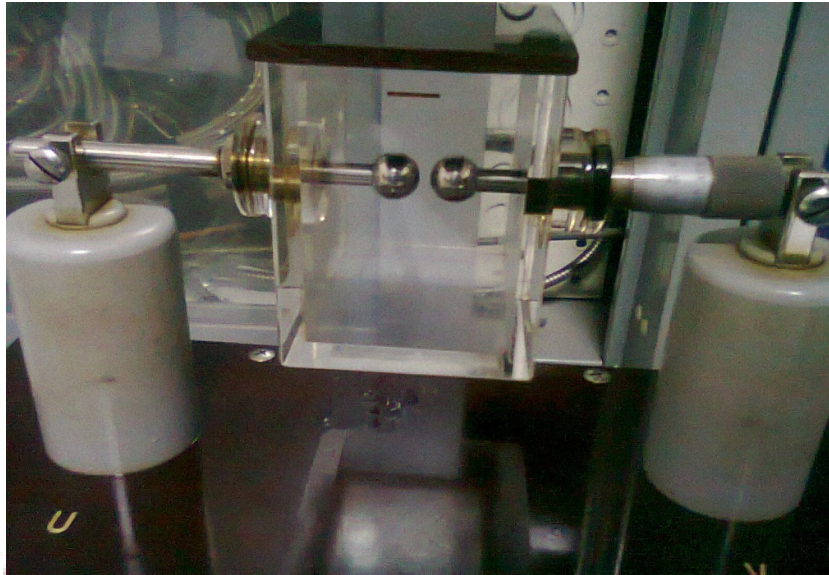




Lampiran 1. Alat dan Bahan yang digunakan pada Pengujian Tegangan Tembus di PLTU Sektor Tello



Lampiran 2. Nameplate dari Oil Tester (Alat Pengujian Tegangan Tembus)



Lampiran 3. Persiapan bejana yang bersih untuk pengujian minyak trafo



Lampiran 4. Termometer Laser dan Heater (Pemanas)



Lampiran 5. Pengetesan temperatur minyak dalam bejana dengan menggunakan thermo laser.



Lampiran 6. Pengaturan skala atau jarak dari dua buah elektroda



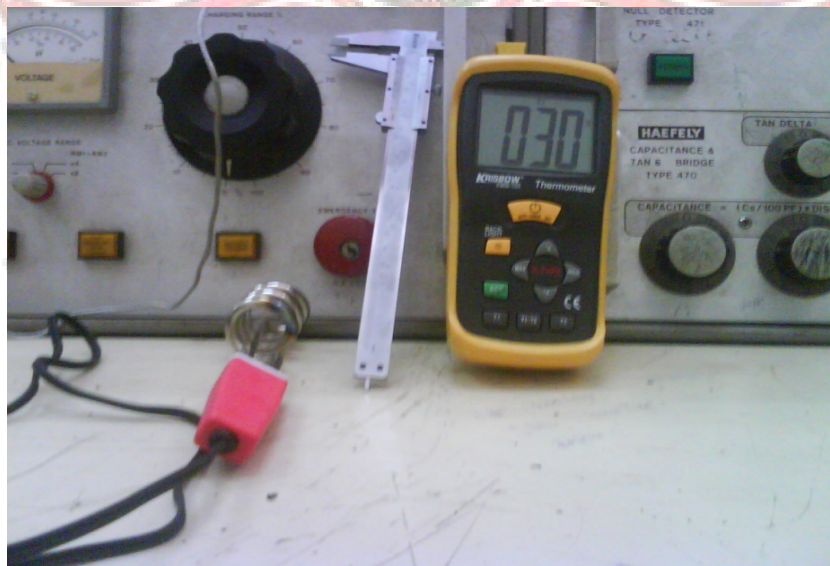
Lampiran 7. Proses Pemanasan dan mengukur suhu Minyak Transformator dengan menggunakan Heater dan Termometer.



Lampiran 8. Persiapan Alat untk memulai pengujian tegangan tembus dan pengambilan data



Lampiran 9. Pengambilan Data pada saat Pengujian Tegangan Tembus



Lampiran 10. Alat-Alat Pengujian Tegangan Tembus di Laboratorium Teknik Konversi Energi



Lampiran 11. Seorang Mahasiswa sedang Mengukur Tebal Plat 2,5 mm



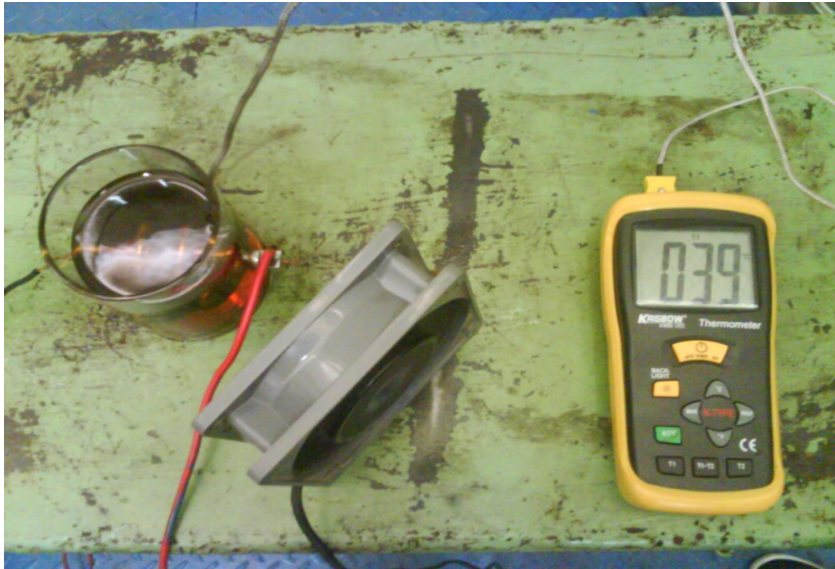
Lampiran 12. Membuat Jarak sela 2,5 mm pada Kedua buah Elektroda



Lampiran 13. Penuangan Minyak Transformator dalam Gelas Pengujian



Lampiran 14. Proses Pemanasan atau Peningkatan Temperatur Minyak Transformator dengan menggunakan Heater



Lampiran 15. Proses Pendinginan atau Penurunan Temperatur Minyak Transformator



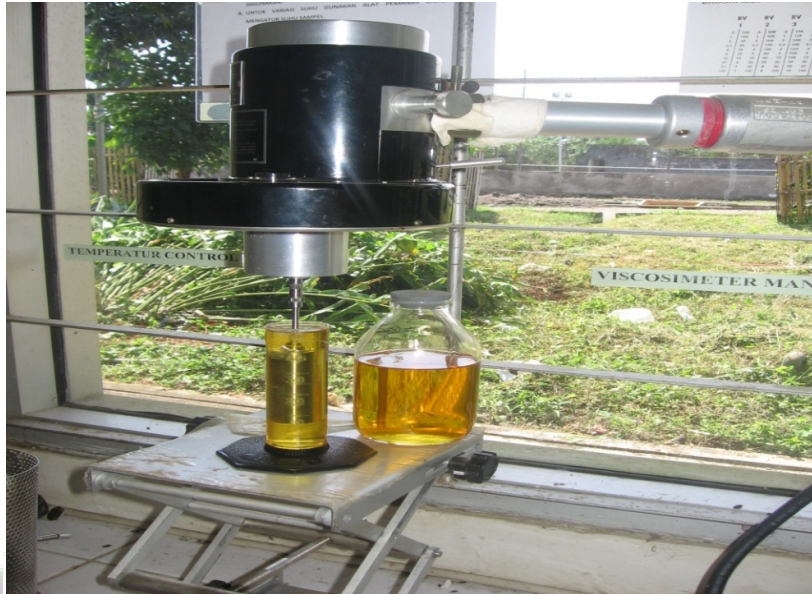
Lampiran 16. Selongsong dari Viskometer Brookfield dan Minyak Trafo



Lampiran 17. Jenis-jenis Spindel Viskometer Brookfield



Lampiran 18. Jenis Spindel yang digunakan dalam Pengujian Viskositas



Lampiran 19. Minyak yang sudah dituang dalam selongsong dan Siap diuji



Lampiran 20. Proses Pengujian Viskositas dengan berputarnya Spindel



Lampiran 21. Pembacaan Skala Viscometer Brookfield setelah Pengujian

TORIES, INC. 240 CUSHING ST., STOUGHTON, MA 02072
 TELEPHONE: (617) 344-4310 TELEX: 924-

RV		RV		LV		LV		LV		LV	
6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
20M .5	80M .3	200 .3	1M .3	4M .3	20M	100 .6	500 .6	2M .6	10M	40 1.5	200 1.5
10M 1	40M .6	100 .6	500 .6	2M .6	10M	40 1.5	200 1.5	800 1.5	4M	20 3	100 3
5M 2	20M 1.5	40 1.5	200 1.5	800 1.5	4M	20 3	100 3	400 3	2M	2.5M 4	10M 6
4M 2.5	16M 3	20 3	100 3	400 3	2M	2.5M 4	10M 6	200 6	1M	2M 5	8M 12
2.5M 4	10M 6	10 6	50 6	200 6	1M	2M 5	8M 12	100 12	500	1M 10	4M 30
2M 5	8M 12	5 12	25 12	100 12	500	1M 10	4M 30	40 30	200	500 20	2M 60
1M 10	4M 30	2 30	10 30	40 30	200	500 20	2M 60	20 60	100	200 50	800
500 20	2M 60	1 60	5 60	20 60	100	200 50	800			100 100	400

Lampiran 22. Tabel Faktor Pengali pada Viscometer Brookfield



Lampiran 23. Alkohol, Tabung Elemenyer, Buret dan Minyak Transformator



Lampiran 24. Seorang Mahasiswa sedang mengambil minyak dengan Alat Pipet Tetes



Lampiran 25. Seorang Mahasiswa sedang Menimbang minyak trafo sebanyak 20 gr



Lampiran 26. Pengambilan Alkohol sebanyak 50 ml



Lampiran 27. Proses Pencampuran Alkohol dengan Minyak Transformator



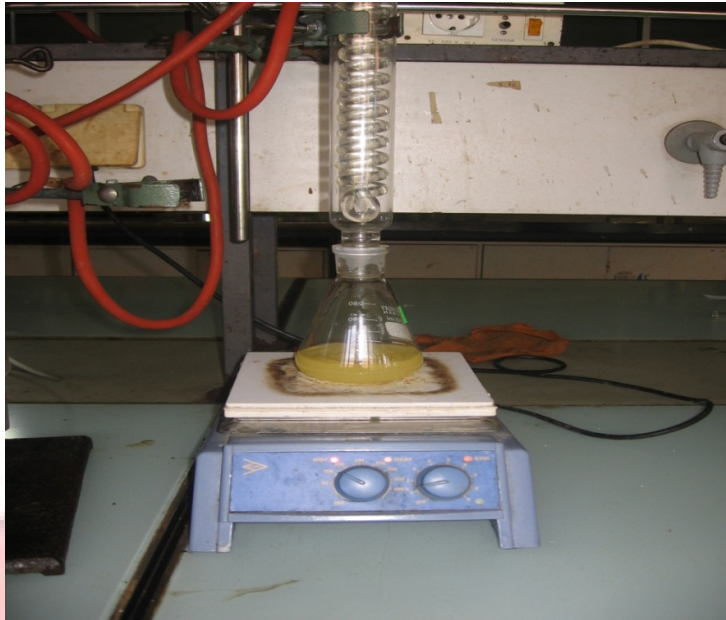
Lampiran 28. Proses Pemanasan Minyak Transformator Bekas



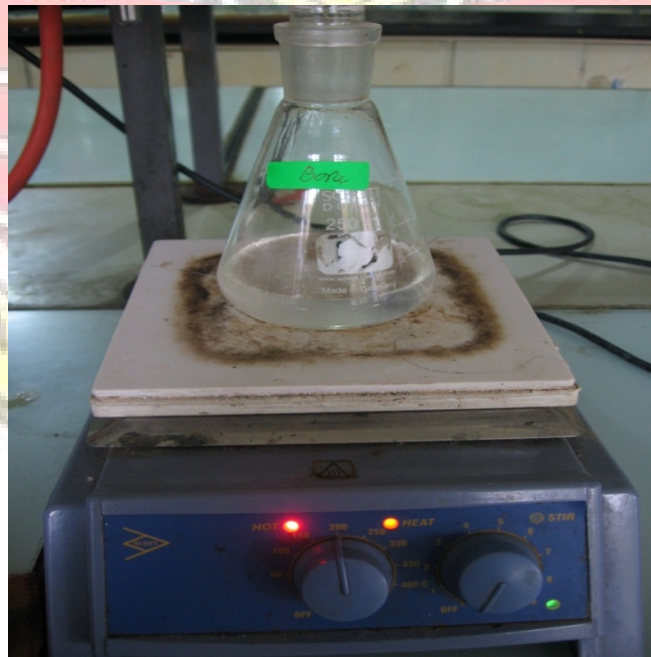
Lampiran 29. Proses Pendidihan Minyak Transformator Bekas



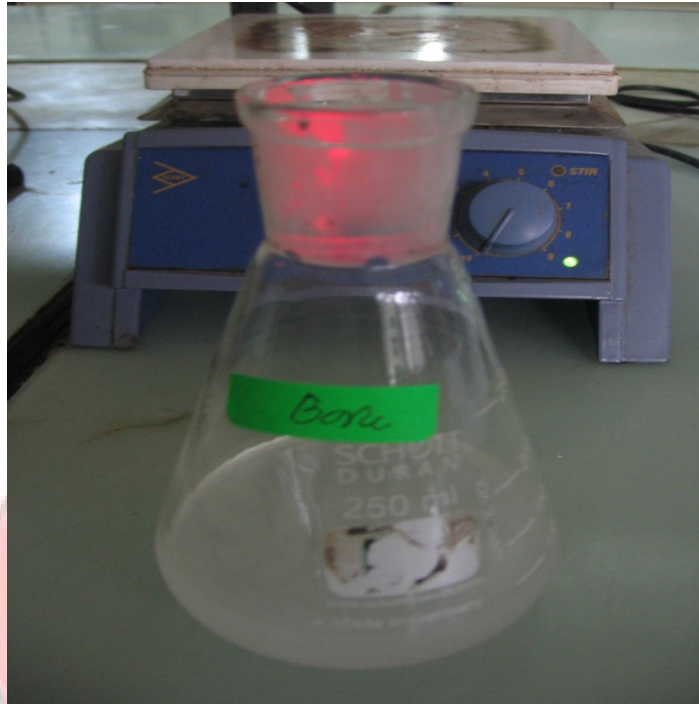
Lampiran 30. Proses Pendinginan dan Pemanasan Minyak Transformator Bekas



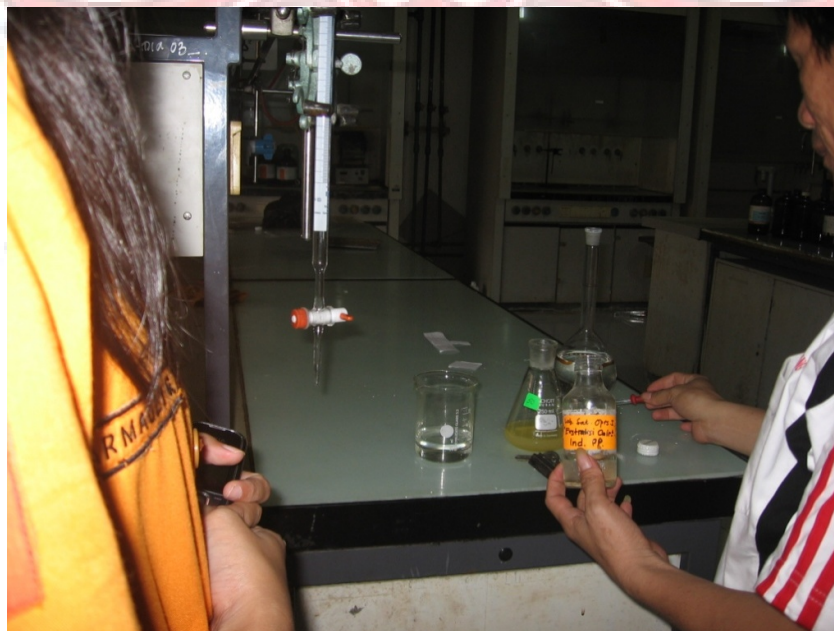
Lampiran 31. Perubahan Warna Minyak Transformator Bekas setelah Pemanasan selama 10 menit



Lampiran 32. Proses Pemanasan Minyak Transformator Baru selama 10 menit



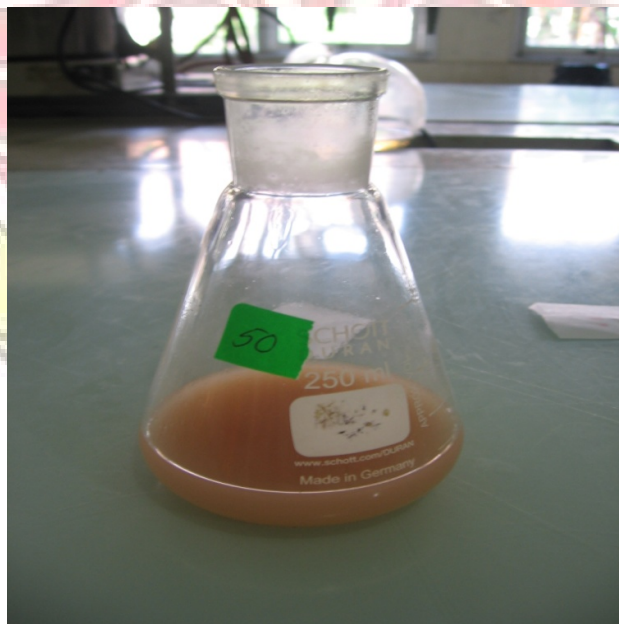
Lampiran 33. Perubahan Warna Minyak Baru setelah Pemanasan dan Pendinginan



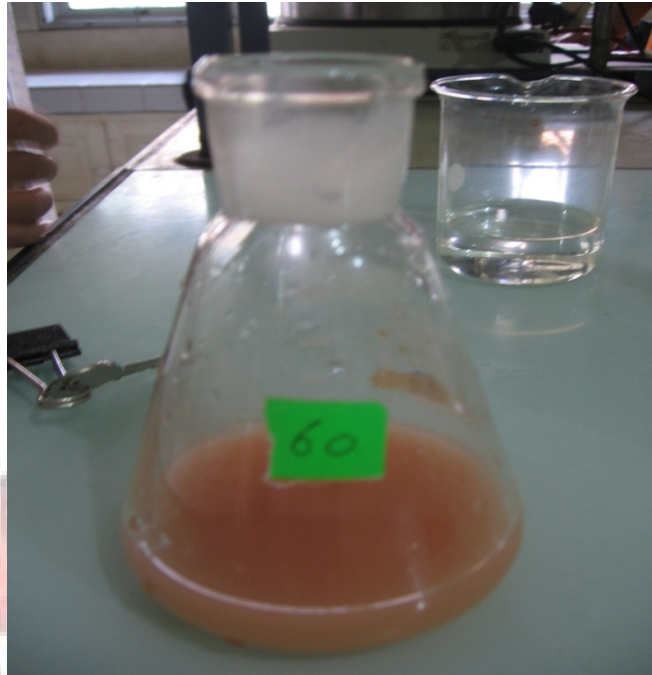
Lampiran 34. Proses Pencampuran Minyak Bekas yang sudah didinginkan dengan Indikator PP



Lampiran 35. Proses Titrasi atau Pencampuran KOH pada Minyak Bekas



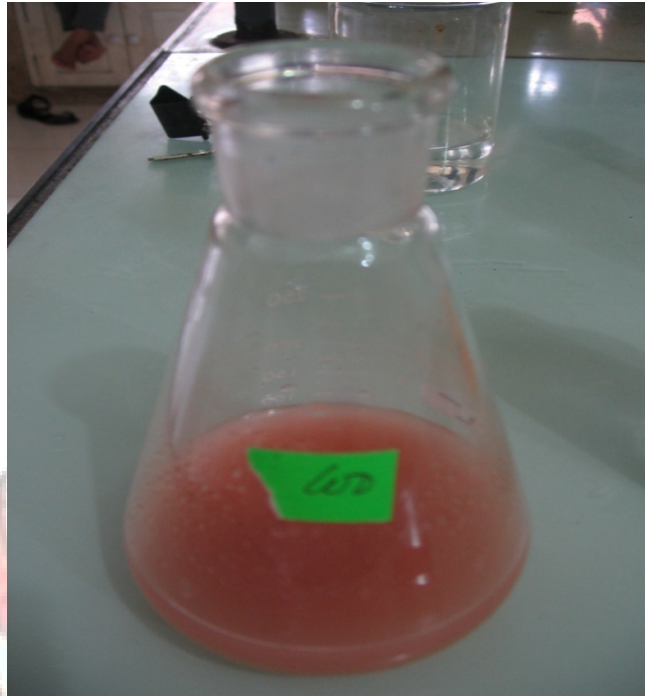
Lampiran 36. Hasil Titrasi KOH pada Minyak Bekas pembebanan 50 %



Lampiran 37. Hasil Titration KOH pada Minyak Bekas pembebanan 60 %



Lampiran 38. Hasil Titration KOH pada Minyak Bekas pembebanan 80 %



Lampiran 39. Hasil Titrasi KOH pada Minyak Bekas pembebanan 100 %



Lampiran 40. Hasil Titrasi KOH pada Minyak Baru



Lampiran 41. Hasil Titrasi KOH pada Alkohol



L A M P I R A N S U R A T





**PT PLN (PERSERO) WILAYAH SULSEL-SULTRA DAN SULBAR
SEKTOR TELLO**

SURAT KETERANGAN

NO. 09/Kt./STL/2010.

YANG BERTANDA TANGAN DIBAWAH INI MENERANGKAN BAHWA :

NAMA / STB : SARMAULI GULTOM
NOMOR POKOK : 342 07 003

NAMA / STB : RAMDHANY EKA P. UNO
NOMOR POKOK : 342 07 025

**JURUSAN : TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG
PANDANG**

BENAR YANG BERSANGKUTAN TELAH MELAKSANAKAN PENELITIAN (STUDI KARAKTERISTIK MINYAK TRAFU PADA BERBAGAI PEMBEBANAN) PADA PT PLN (PERSERO) WILAYAH SULSEL-SULTRA DAN SULBAR SEKTOR TELLO UNIT PLTG/U MULAI TANGGAL 04 OKTOBER 2010 SAMPAI DENGAN TANGGAL 05 OKTOBER 2010.

DEMIKIAN SURAT KETERANGAN INI KAMI BUAT UNTUK DAPAT DIPERGUNAKAN DENGAN SEPERLUNYA.

Makassar, 05 November 2010

ASMEN SDM & ADM

