

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Perubahan Tingkat Keasaman Minyak Randu Akibat Pengaruh Medan Listrik dan Temperatur”. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung sebagai berikut.

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. dan Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Unggul Wibawa, M.Sc, selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta, Mama, Papa, dan Dek Della. Terima kasih atas doa, dukungan, semangat, kesabaran, pelajaran hidup yang tak ternilai dan segalanya yang telah diberikan.
6. Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi, *kipuh family*, Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, dan anggota HME 2014-2015 karena telah turut andil memberikan waktu, tenaga, pikiran, dukungan moral, dan semangat, juga atas kerjasama dan kebersamaannya.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Disadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun semoga laporan penelitian ini dapat banyak bermanfaat bagi kita semua.

Malang, November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dielektrik Cair.....	5
2.1.1 Fungsi Dielektrik Cair	5
2.1.2 Sifat-sifat Dielektrik Cair	5
2.2 Minyak Isolasi	7
2.3 Parameter Kualitas Isolasi Cair Transformator	8
2.4 Parameter Angka Kenetralan Minyak Transformator	9
2.5 Minyak Randu	10
2.6 Faktor Efisiensi Medan Listrik.....	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Metode Pengujian.....	15
3.2 Rangkaian Pengujian.....	15
3.2.1 Rangkaian Pengujian AC.....	15
3.2.2 Rangkaian Pengujian DC.....	16
3.3 Persiapan Alat dan Fungsinya	16
3.4 Kondisi Pengujian	18
3.4.1 Pengujian Kenaikan Suhu.....	18

3.4.2 Pengujian Medan Homogen	19
3.4.3 Pengujian Medan Non Homogen	19
3.5 Metode Pengukuran.....	20
3.5.1 Persiapan dan Fungsi Alat dan Bahan	20
3.5.2 Langkah-langkah Pengukuran Angka pH.....	20
3.5.3 Langkah-langkah Pengukuran Angka Kenetralan	21
3.6 Analisis Data	23
BAB IV PEMBAHASAN HASIL PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDAN LISTRIK TERHADAP PERUBAHAN TINGKAT KEASAMAN MINYAK RANDU	24
4.1 Tingkat Keasaman Minyak Randu dan <i>Shell Diala B</i>	24
4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu	25
4.2.1 Pengaruh Temperatur terhadap pH Minyak Randu	26
4.2.2 Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu.....	28
4.3 Pengaruh Medan Listrik terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu	32
4.3.1 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu	32
4.3.1.1 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu....	32
4.3.1.2 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu	33
4.3.2 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu	35
4.3.2.1 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu	35
4.3.2.2 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu	36
BAB V PENUTUP	38
PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan.....	38
5.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Biji Randu 10

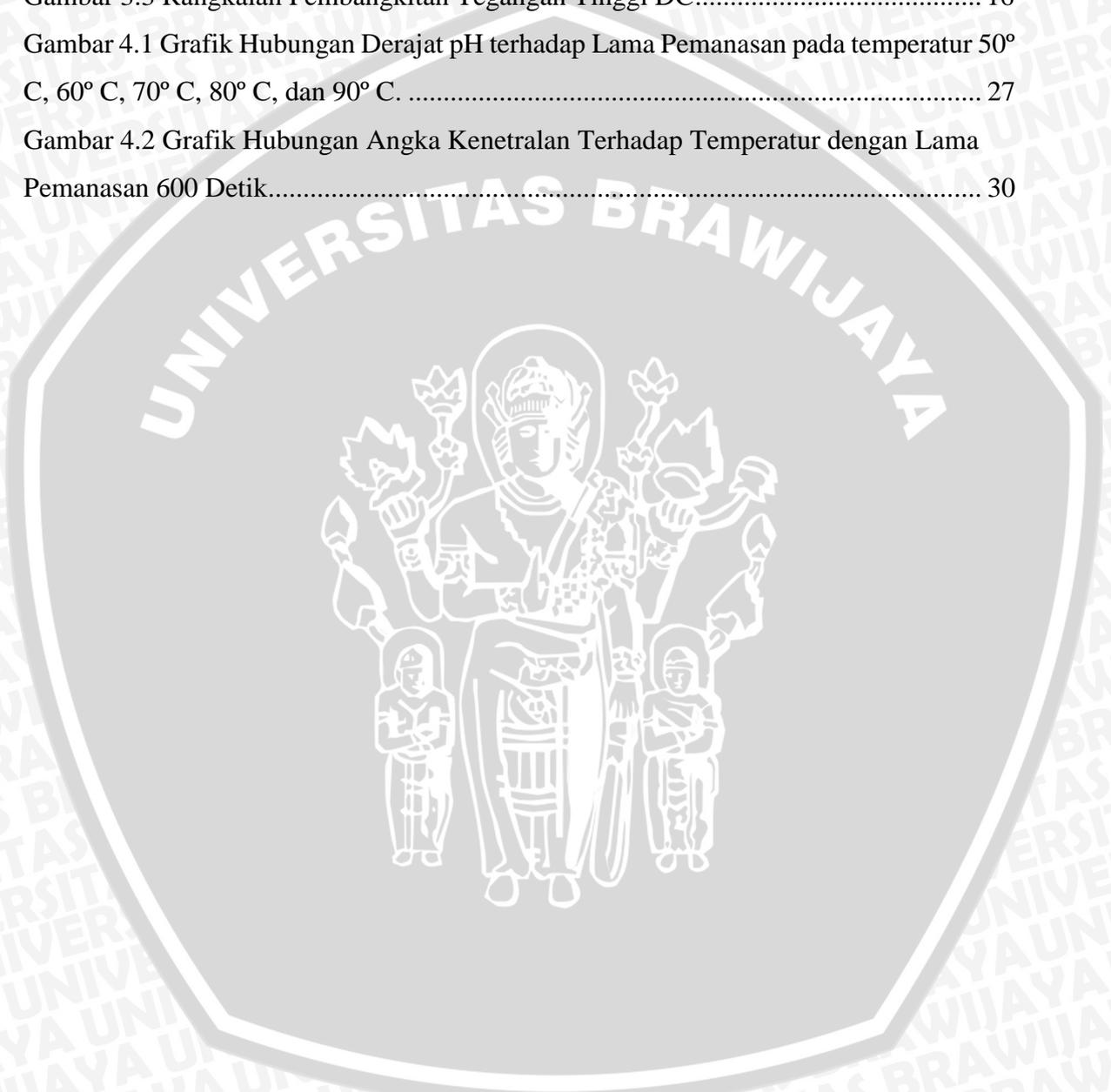
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian 14

Gambar 3.2 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC 15

Gambar 3.3 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi DC..... 16

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Derajat pH terhadap Lama Pemanasan pada temperatur 50° C, 60° C, 70° C, 80° C, dan 90° C. 27

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Angka Kenetralan Terhadap Temperatur dengan Lama Pemanasan 600 Detik..... 30

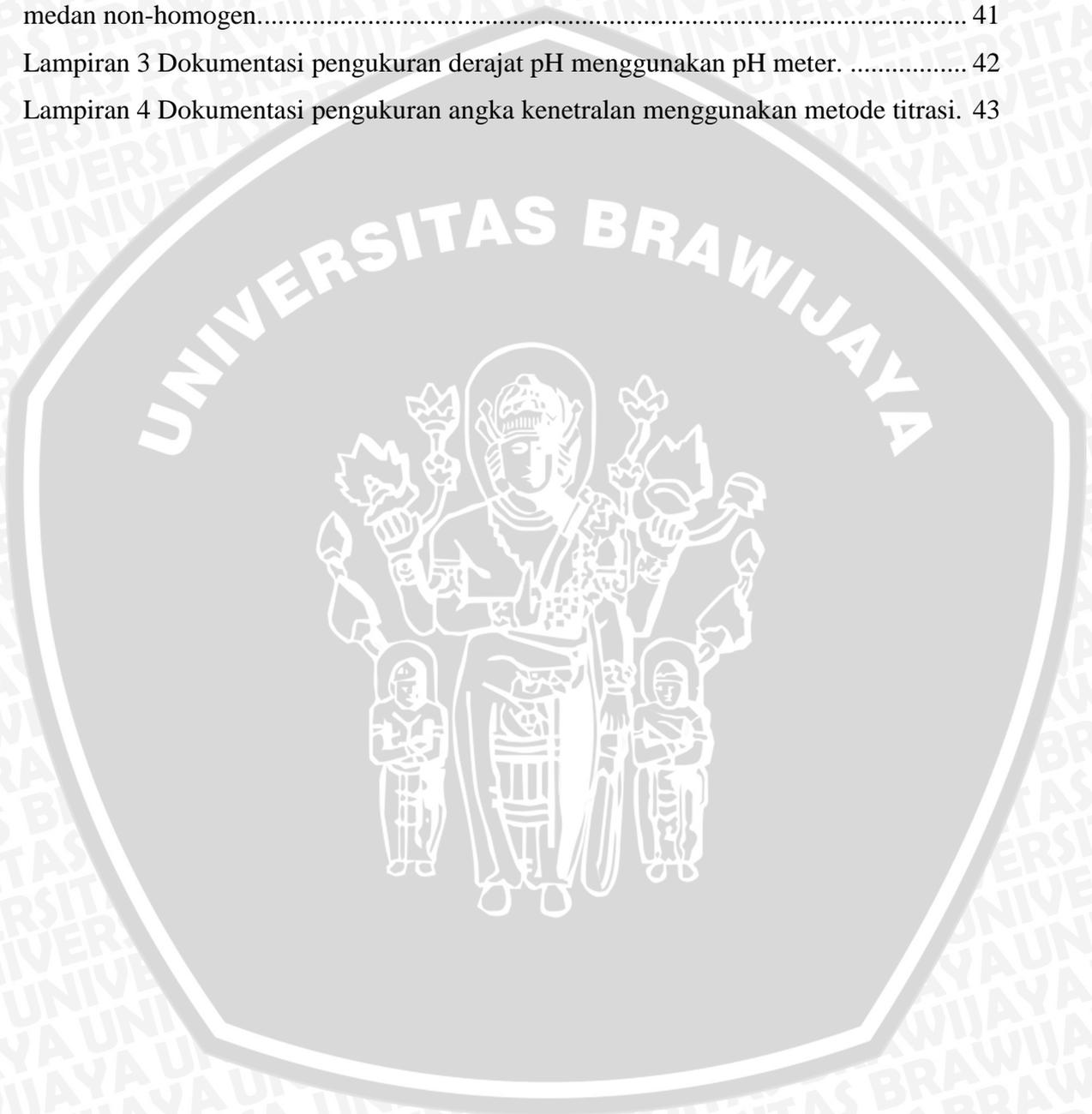


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru	8
Tabel 2.2 Standar Angka Kenetralan Berdasarkan Kondisi Minyak.....	10
Tabel 2.3 Uraian Komposisi Asam Lemak Biji Pohon Randu	11
Tabel 2.4 Sifat Kimia Minyak Biji Randu	11
Tabel 3. 1 Suhu dan Waktu Pemanasan.....	18
Tabel 3. 2 Tingkat Tegangan AC dan DC yang Diberikan dan Lama Pemaparan.....	19
Tabel 4.1 Derajat pH Minyak Randu Murni dan Shell Diala B	25
Tabel 4.2 Angka Kenetralan Minyak Randu Murni dan Shell Diala B	25
Tabel 4.3 Pengaruh Temperatur terhadap Derajat pH Minyak Randu	26
Tabel 4. 4 Derajat pH Minyak Randu pada Kondisi Pemanasan Berulang	28
Tabel 4. 5 Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu.....	29
Tabel 4. 6 Data Trendline Pengukuran Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu.....	31
Tabel 4. 7 Derajat pH Minyak Randu pada Kondisi Pemanasan Berulang	31
Tabel 4. 8 Pengaruh Medan Listrik Homogen pada Derajat Ph Minyak Randu	32
Tabel 4. 9 Pengaruh Medan Listrik Homogen pada Angka Kenetralan Minyak Randu	34
Tabel 4. 10 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu	35
Tabel 4. 11 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rekapitulasi perhitungan angka kenetralan minyak randu akibat pengaruh medan homogen.....	40
Lampiran 2 Rekapitulasi perhitungan angka kenetralan minyak randu akibat pengaruh medan non-homogen.....	41
Lampiran 3 Dokumentasi pengukuran derajat pH menggunakan pH meter.	42
Lampiran 4 Dokumentasi pengukuran angka kenetralan menggunakan metode titrasi.	43



RINGKASAN

Muhammad Aldy Lisfianto, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2015, *Analisis Perubahan Tingkat Keasaman Minyak Randu Akibat Pengaruh Medan Listrik dan Temperatur*, Dosen Pembimbing : Moch. Dhofir dan Hery Purnomo.

Minyak randu adalah salah satu jenis minyak nabati yang mempunyai potensi sebagai pengganti minyak transformator dikarenakan biaya pengolahannya yang murah. Sebagai minyak alternatif untuk isolasi transformator, minyak randu harus mampu mempunyai spesifikasi yang dibutuhkan oleh PT. PLN agar dapat dipakai pada transformator. Salah satunya adalah tingkat keasaman pada minyak randu harus dibawah atau sama dengan 0,03 mg KOH/gr. Dalam penelitian ini minyak randu diuji dengan temperatur dan medan listrik, kemudian diukur tingkat keasaman minyak randu yang meliputi derajat pH dan angka kenetralan. Metode yang digunakan untuk mengukur angka kenetralan adalah metode titrasi dengan mengacu pada standar IEC 296.

Hasil pengukuran menjelaskan bahwa medan listrik homogen dan non-homogen tidak mempengaruhi tingkat keasaman minyak randu. Tingkat keasaman minyak randu hanya berubah ketika terjadi tembus. Pada medan homogen dengan diterapkan tegangan AC, tegangan tembus sebesar 13,56 kV, derajat pH minyak randu yang awalnya 4,65 menurun menjadi 4,42, dan angka kenetralan yang awalnya 13,4366 mg KOH/gr naik menjadi 14,2036 mg KOH/gr.

Pengujian pemanasan mempengaruhi tingkat keasaman minyak randu menjadi lebih baik berdasarkan hasil pengukuran. Temperatur maksimum untuk pemanasan minyak randu adalah 70° C, lebih dari 70° C maka minyak randu akan mengalami kerusakan. Derajat pH minyak randu sebelum pemanasan adalah 4,65, setelah dipanaskan naik menjadi 6,43. Angka kenetralan minyak randu sebelum dipanaskan adalah 13,4366 mg KOH/gr, setelah dipanaskan menurun menjadi 10,3958 mg KOH/gr.

Kata kunci : Minyak Randu, Medan Listrik, pH, Angka Kenetralan (*Neutralization Number*)

SUMMARY

Muhammad Aldy Lisfianto, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, November 2015, *Analysis of Randu Oil's Changes in Acidity Level Due to The Influence of Electric Field and Temperature*, Academic Supervisors : Moch. Dhofir and Hery Purnomo.

Randu oil is a type of vegetable oil which have the potential as a replacement for oil transformer because the cost of randu oil production is cheaper. As an alternative to isolation transformer oil, randu oil must meet the specifications that specified by PT. PLN to be used on transformers. One of the spesification is the acidity level of randu oil must be below or equal to 0,03 mg KOH/gr. In this study, randu oil was tested with temperature and electric field, then measured the acidity of randu oil which include the degree of pH and neutralization number. The method used to measure the neutralization number is titration method which refers to the IEC standard 296.

The result of the measurement shows that homogeneous and inhomogeneous electric field does not influence acidity level of randu oil. The acidity level of randu oil changes only when breakdown occurs. On homogenous field applied AC voltage, breakdown voltage is 13,56 kV, degree of pH which was originally is 4,65 decreased to 4,42, and neutralization number that only 13,4366 mg KOH/gr increased to 14,2036 mg KOH/gr.

According to the measurement, heating test influenced acidity level of randu oil to be better. Maximum temperature for heating randu oil is 70° C, if more than 70° C, randu oil will be physically damaged. Degree of pH before heating is 4,65, after heating increased to 6,43. Neutralization number before heating is 13,4366 mg KOH/gr, after heating decreased to 10,3958 mg KOH/gr.

Keywords : Randu Oil, Electric Field, pH, Neutralization Number

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolasi adalah material pengaman peralatan listrik yang memisahkan bagian bertegangan dan bagian tidak bertegangan. Untuk isolasi pada transformator, digunakan minyak sebagai salah satu material cair. Minyak mempunyai sifat yang mampu untuk mengisi dan meresap ke celah-celah kecil sehingga dijadikan faktor penting dipilihnya minyak sebagai isolasi, minyak juga dapat sekaligus digunakan untuk pendinginan karena sifat minyak yang dapat melepaskan panas dengan cepat.

Faktor yang sangat penting untuk diperhatikan dalam isolasi cair adalah kemurnian minyak, karena seiring pengoperasian transformator, minyak akan mengalami penurunan fungsi akibat adanya pencemaran oleh bahan-bahan logam transformator dan adanya reaksi-reaksi kimia di dalam trafo itu sendiri, yang semakin dipicu oleh semakin tingginya temperatur dan lama waktu transformator beroperasi.

Reaksi kimia yang terjadi dapat menghasilkan kontaminan seperti air, asam, alkohol, keton-keton dan aldehida. Reaksi ini dapat berlangsung bertahun-tahun pada temperatur kerja trafo. Asam semakin lama semakin kuat dan bereaksi dengan tembaga-tembaga dari kumparan yang membentuk persenyawaan yang berupa endapan. Endapan ini dapat menyumbat celah pendingin, sehingga mengganggu fungsi minyak sebagai media isolasi dan media pendingin. Kandungan asam di dalam minyak trafo tidak diketahui secara pasti tergantung temperatur dan lama trafo tersebut dioperasikan.

Minyak transformator yang digunakan oleh perusahaan listrik di Indonesia adalah isolasi cair merk Sheel tipe Diala B yang merupakan minyak yang berasal dari minyak bumi, dihasilkan oleh berbagai penyulungan dan lebih dari seratus tahun pemakaiannya digunakan sebagai isolasi cair dan sulit terdegradasi. Maka dibutuhkan isolasi cair yang dapat terdegradasi secara sempurna dan bahan organik yang dapat terurai dengan lingkungan yaitu minyak nabati. Minyak nabati yang digunakan adalah minyak randu yang telah diolah. Walaupun kemampuan isolasinya masih lebih rendah daripada Shell Diala B, namun minyak randu masih

dapat diperhitungkan sebagai minyak isolasi alternatif bagi transformator dan peralatan listrik lainnya.

Untuk mengukur nilai kandungan asam yang ada di dalam minyak randu, maka digunakan angka kenetralan. Semakin besar angka kenetralan, maka minyak semakin tidak bagus untuk digunakan sebagai isolasi. Angka ini dapat bertambah diakibatkan oleh adanya reaksi kimia seperti yang sudah dijelaskan. Semakin besar angka kenetralan juga berarti semakin banyak kandungan asam yang terkandung dalam minyak.

Dengan latar belakang tersebut, maka perlu diteliti pengaruh dari medan listrik dan temperatur terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu, yang hasilnya akan dilaporkan dalam skripsi ini.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang disusun adalah:

1. Bagaimana pengaruh medan listrik terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu.
2. Bagaimana pengaruh kenaikan temperatur terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu.

1.3 Ruang Lingkup

Sesuai rumusan masalah, maka ruang lingkup yang disusun yaitu:

1. Menganalisis pengaruh medan homogen menggunakan tegangan AC dan DC dengan variasi waktu pemaparan tegangan.
2. Menganalisis pengaruh medan non homogen menggunakan tegangan AC dan DC dengan variasi waktu pemaparan tegangan.
3. Menganalisis pengaruh kenaikan temperatur dengan variasi waktu pemanasan minyak.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi hal-hal sebagai berikut :

1. Untuk pengujian medan homogen digunakan elektroda bola-bola, sedangkan untuk pengujian medan non-homogen digunakan elektroda jarum piring.
2. Parameter yang diamati adalah derajat pH dan angka kenetralan dari berbagai kondisi minyak randu.

3. Tidak membahas mengenai kandungan dan peristiwa kimiawi pada minyak randu.
4. Pengujian medan listrik untuk minyak randu dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Pengujian kenaikan temperatur untuk minyak randu dilakukan di laboratorium Bengkel Elektronika dan Proses, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
6. Pengukuran tingkat keasaman untuk minyak randu yang telah melalui pengujian dilakukan di laboratorium Biokimia dan Pangan, Jurusan Teknologi Hasil Pangan Universitas Brawijaya.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh medan listrik dan pengaruh kenaikan temperatur terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah agar penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penggunaan minyak nabati sebagai minyak transformator alternatif, dalam lingkup tingkat keasaman, dengan medan listrik dan temperatur sebagai variabelnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian dengan judul “Analisis Perubahan Tingkat Keasaman Minyak Randu Akibat Pengaruh Medan Listrik dan Temperatur” adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan teori dalam penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini seperti, studi literatur, obyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data, analisis, serta penarikan kesimpulan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

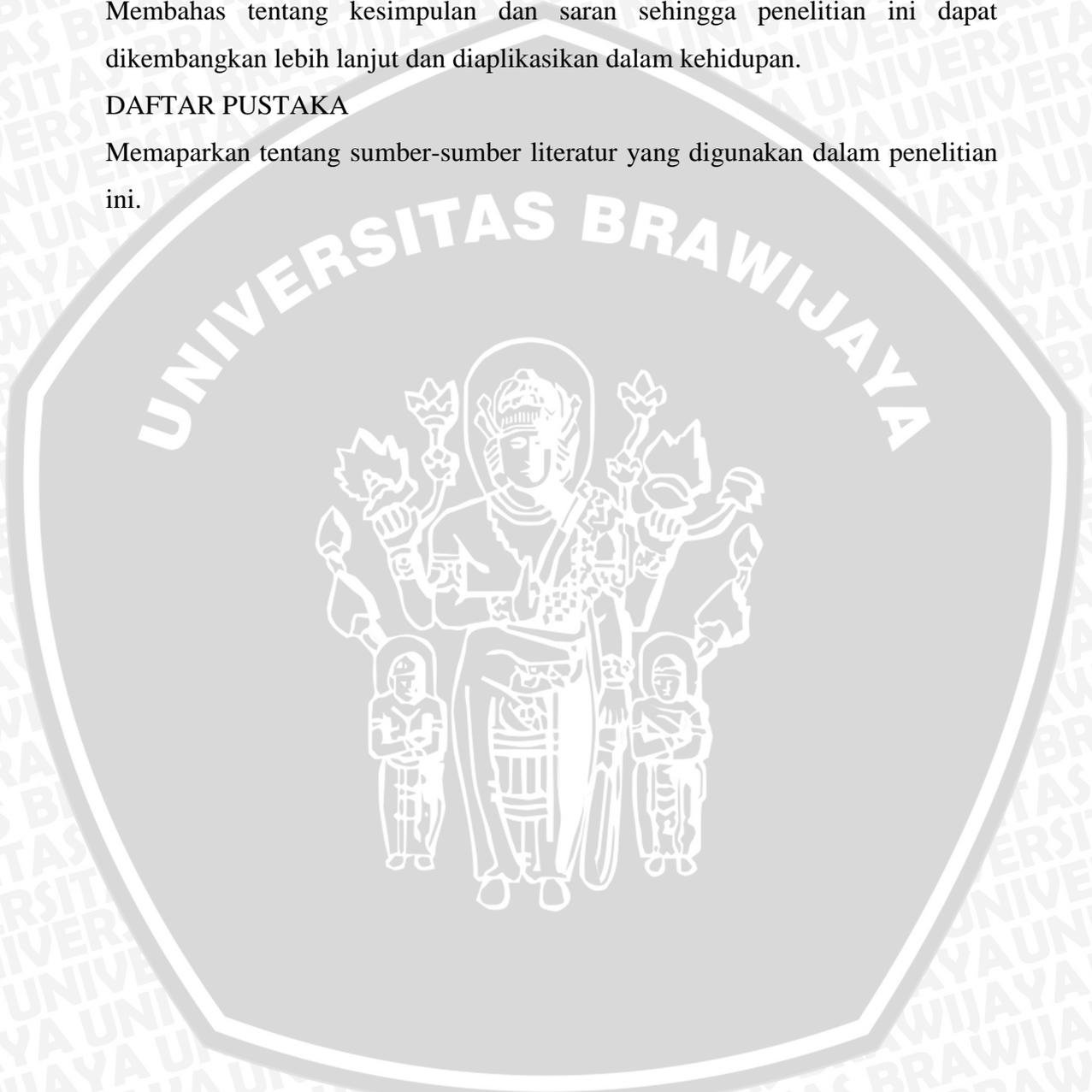
Membahas tentang hasil pengujian pengaruh medan listrik dan temperatur terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu dengan berbagai variabel kondisi yang telah disediakan.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran sehingga penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan diaplikasikan dalam kehidupan.

DAFTAR PUSTAKA

Memaparkan tentang sumber-sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dielektrik Cair

Dielektrik cair merupakan salah satu jenis dielektrik yang digunakan sebagai pemisah dua atau lebih elektroda bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan listrik antar elektroda. Dielektrik cair difungsikan sebagai media pendingin transformator dan mengurangi rugi-rugi panas yang terjadi. Serta dielektrik cair juga memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dibandingkan dengan dielektrik gas.

2.1.1 Fungsi Dielektrik Cair

Fungsi yang paling penting dari suatu bahan isolasi cair adalah :

1. Mengisolasi antar penghantar.
2. Menahan gaya mekanis akibat adanya arus konduktor terisolasi.
3. Menahan tekanan akibat panas dan reaksi kimia.

Dielektrik cair sebagai bahan isolasi utamanya berfungsi untuk memisahkan bagian peralatan yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan, karena ada perbedaan tegangan dengan peralatan yang tidak bertegangan diantara kedua pemisah bagian tersebut akan timbul medan elektrik. Dengan kata lain, bahan yang membentuk isolasi peralatan listrik harus dapat menahan tekanan yang ditimbulkan oleh medan elektrik didalam bagian tersebut. (Boggas L Tobing, 2012)

2.1.2 Sifat-sifat Dielektrik Cair

1) Sifat Listrik

Sifat listrik pada dielektrik cair meliputi tahanan isolasi, kekuatan dielektrik, konstanta dielektrik atau permitivitas dan kerugian daya dielektrik.

- a) Tahanan isolasi adalah sifat yang menyatakan kemampuan bahan dalam menahan aliran arus listrik. Bila tegangan yang dikenakan pada bahan adalah V dan arus bocor yang mengalir adalah I , maka tahanan isolasinya: $R = V/I$. Sedangkan faktor-faktor yang memengaruhi tahanan isolasi adalah temperatur, kelembaban, dan tegangan yang diterapkan pada isolasi tersebut.
- b) Kekuatan dielektrik adalah kemampuan bahan isolasi untuk menahan terjadinya tegangan tembus. Dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$V_{br} = E_{br} \cdot h \quad (2-1)$$

Keterangan:

V_{br} : tegangan tembus (kV)

E_{br} : kekuatan dielektrik (kV mm⁻¹)

h : ketebalan bahan isolasi (mm)

Sedangkan faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan dielektrik adalah: suhu, kelembaban, ketebalan bahan isolasi, waktu dan frekuensi tegangan yang diterapkan.

- c) Konstanta dielektrik atau permitivitas adalah konstanta dari bahan isolasi yang menyimpan muatan listrik apabila diterapkan suatu tegangan padanya. Besar muatan listrik (Q) sebanding dengan tegangan yang dikenakan (V).

$$Q \cong V \text{ maka } Q = C V \quad (2-2)$$

C dipengaruhi dengan adanya suatu konstanta dari bahan isolasi (k). Selain faktor k, faktor yang menentukan besarnya kapasitansi dari suatu bahan adalah luas permukaan bahan dan jarak antara dua permukaan yang dikenakan tegangan.

$$C = k A/d' \quad (2-3)$$

Keterangan:

k : konstanta dielektrik bahan isolasi

A : luas permukaan bahan (m²)

d' : jarak antara dua permukaan yang bertegangan (cm)

Konstanta dielektrik minyak transformator adalah 2 – 2,5.

2) Sifat Mekanik

Sifat mekanik pada bahan isolasi adalah kekuatan mekanik, viskositas atau kekentalan, dan porositas.

- a) Kekuatan mekanik adalah sifat dari bahan isolasi yang wajib mampu menahan gaya-gaya atau beban tertentu selama proses pembuatan peralatan dan pengoperasian. Kekuatan mekanik dipengaruhi oleh kelembaban dan temperatur.
- b) Viskositas atau kekentalan merupakan sifat penting pada bahan isolasi cair. Perubahan viskositas akan merubah pula sifat elektrik dan sifat-sifat lainnya dari bahan isolasi cair. Isolasi cair dengan viskositas rendah akan lebih mempercepat proses penyaluran panas pada transformator yang terendam minyak.

- c) Porositas adalah ruang kosong diantara bahan isolasi cair. Semakin banyak ruang kosongnya maka ruang kosong akan diisi oleh gas yang kekuatan dielektriknya lebih kecil daripada bahan dielektrik gas sendiri.
- 3) Sifat Termal
 - Sifat thermal meliputi titik lebur, daya hantar panas, dan sifat tidak mudah terbakar.
 - a) Titik lebur merupakan titik temperatur di mana bahan isolasi padat melebur karena menerima panas yang berlebihan.
 - b) Daya hantar panas merupakan kemampuan minyak untuk mengalirkan dan mengurangi panas dengan cepat, serta tidak menimbulkan peningkatan temperatur saat pengoperasian.
 - c) Sifat tidak mudah terbakar merupakan sifat dari suatu bahan isolasi di mana bahan isolasi wajib tidak terbakar saat terjadi kegagalan isolasi atau tembus.
- 4) Sifat Kimiawi
 - Sifat kimiawi yang perlu diperhatikan pada bahan isolasi adalah tahanan kimiawi, daya serap air/hygroskopis, dan penuaan.
 - a) Tahanan kimiawi adalah sifat dari bahan isolasi di mana bahan harus sulit bereaksi dan tahan terhadap adanya reaksi kimia yang terjadi disekitarnya.
 - b) Daya serap air/hygroskopis, bahan isolasi harus memiliki sifat tidak mudah menyerap air karena air dapat menurunkan sifat dielektrik pada bahan isolasi. Air juga bersifat mudah dialiri arus listrik.
 - c) Penuaan, penuaan terjadi akibat adanya panas pada transformator dalam jangka waktu yang lama, reaksi kimia, dan perubahan tegangan secara cepat.

2.2 Minyak Isolasi

Minyak pada transformator memiliki daya hantar panas yang terjadi pada kumparan dan inti transformator. Sehingga kekuatan elektrik dan umur dari sebuah transformator dipengaruhi oleh minyak isolasi. Spesifikasi minyak isolasi ditentukan sebagai berikut: (Boggas L Tobing, 2003:204)

1. Kekuatan elektrik tinggi.
2. Daya hantar panas baik.
3. Berat jenis minyak trafo rendah, Minyak dengan berat jenis rendah maka partikel-partikelnya akan melayang-layang di minyak dan akan mengendap di dasar tangki.

4. Memiliki kekentalan yang rendah, minyak yang encer mempercepat dalam pendinginan.
5. Memiliki titik tuang yang rendah, minyak dengan titik tuang rendah terjadi pada suhu yang rendah.
6. Mempunyai titik nyala yang rendah, titik nyala yang rendah membuat minyak mudah menguap.
7. Tidak merusak material isolasi lain yang berkesinambungan, contohnya kertas isolasi.
8. Unsur kimianya mengakibatkan isolasi dari kumparan trafo akan turun dan akan mengalami korosi, harus tetap stabil.

Spesifikasi minyak trafo harus memenuhi standar diatas, dan menurut Standar Perusahaan PT PLN (Persero) Nomor 49 Tahun 1982, standar minyak trafo baru adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru

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

Sumber: SPLN-1, 1982: 7

2.3 Parameter Kualitas Isolasi Cair Transformator

Transformator merupakan unsur penting dalam jaringan tenaga listrik. Transformator perlu dijaga agar kondisinya selalu dapat bekerja secara optimal. Salah satu faktor utama yang menggambarkan kondisi transformator secara keseluruhan adalah

peralatan isolasi. Peralatan isolasi transformator terdiri dari isolasi cair dan padat. Hingga sekarang, PT PLN (Persero) telah memiliki parameter-parameter dalam pengujian untuk kualitas isolasi transformator, yaitu:

- a.) Tegangan Tembus Minyak (Breakdown Voltage)
- b.) Tegangan Antar Muka (Interfacial Tension/IFT)
- c.) Kandungan Air dalam Minyak (Water Content)
- d.) Angka Keasaman (Neutralization Number/NN)
- e.) Flash Point
- f.) Warna
- g.) Sludge
- h.) Rasio CO/CO₂
- i.) Furan
- j.) Faktor Rugi-rugi Dielektrik ($\tan \delta$)

Penelitian ini merupakan penelitian yang berfokus pada angka keasaman pada minyak, sehingga tidak akan dijelaskan mengenai parameter kualitas isolasi minyak transformator yang lain kecuali angka keasaman.

2.4 Parameter Angka Kenetralan Minyak Transformator

Angka keasaman atau sering disebut angka kenetralan (Neutralization Number) merupakan jumlah kalium hidroksida (KOH) yang dibutuhkan dalam miligram untuk menetralkan satu gram minyak sampel. Semakin banyak kalium hidroksida yang dibutuhkan, maka semakin besar asam minyak dan semakin besar pula angka kenetralannya. Proses oksidasi pada kertas dan minyak akan menghasilkan asam. Kandungan asam dalam minyak mempercepat penurunan kondisi minyak dan kertas, yaitu:

- Asam akan menghasilkan lebih banyak asam dari minyak transformator dan kertas isolasi.
- Asam akan bereaksi dengan kertas isolasi sehingga menghasilkan air.
- Asam bersifat korosif terhadap logam dan akan membentuk lebih banyak partikel-partikel logam pada belitan dan bagian bawah bejana transformator.

Berikut juga akan dimuat standar angka kenetralan terhadap kondisi minyak berdasarkan standar ANSI/IEEE C59.91-1991 pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Angka Kenetralan Berdasarkan Kondisi Minyak

No	Standar untuk penanganan	Angka keasaman (mg KOH/g)
1	Minyak baru.	$\leq 0,02$
2	Pemurnian ulang dianjurkan terutama pada peralatan tegangan ekstra tinggi. Untuk transformator 30 kV atau lebih rendah masih diizinkan.	$< 0,2$
3	Batas dimana harus diadakan pemurnian ulang atau penggantian bila diperlukan.	0,2 s/d 0,5
4	Batas dimana harus segera dilakukan penggantian.	$> 0,5$

Sumber: ANSI/IEEE C59.91-1991

2.5 Minyak Randu

Kapuk randu atau kapuk (*Ceiba pentandra*) adalah pohon tropis yang tergolong ordo Malvales dan famili Malvaceae (sebelumnya dikelompokkan ke dalam famili terpisah Bombacaceae), berasal dari bagian utara dari Amerika Selatan, Amerika Tengah dan Karibia, dan (untuk varitas *C. pentandra* var. *guineensis*) berasal dari sebelah barat Afrika. Kata "kapuk" atau "kapok" juga digunakan untuk menyebut serat yang dihasilkan dari bijinya. Pohon ini juga dikenal sebagai kapas Jawa atau kapok Jawa, atau pohon kapas-sutra. Dan disebut sebagai *Ceiba*, nama genusnya, yang merupakan simbol suci dalam mitologi bangsa Maya. Pohon biji randu dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2. 1 Biji Randu

Sumber: kapukrandukaraban-pati.blogspot.co.id

Gambar 2.1 menunjukkan biji randu yang dibungkus oleh karung untuk tujuan pengangkutan ke pabrik pengolahan minyak. Teksturnya seperti kelereng kecil dengan warna hitam, dan dalam biji randu berwarna putih. Pohon ini tumbuh hingga setinggi 60-70 m dan dapat memiliki batang pohon yang cukup besar hingga mencapai 3 m. Biji dari

pohon randu ini bisa digunakan sebagai minyak. Biji tersebut diperoleh dari proses pengekstraksian biji kapuk pohon randu. Biji kapuk memiliki kandungan minyak sebesar 16,14% dengan kelembaman kurang dari 10 %. Kadungan asam yang terbesar di dalam minyak randu yaitu asam linoleat (asam lemak yang tak jenuh). (Kemala, 2006)

Tabel 2.3 Uraian Komposisi Asam Lemak Biji Pohon Randu

No.	Asam Lemak	Persentase Berat (%)
1	Asam mirsitat	1,40
2	Asam palmitat	23,40
3	Asam stearate	1,10
4	Asam arachidat	1,30
5	Asam miriatoleat	0,10
6	Asam palmitoleat	2,0
7	Asam Oleat	22,90
8	Asam linoleat	47,80

Sumber : Ketaren, 1986, dikutip dari Krischenbauer, 1960

Tabel 2.4 Sifat Kimia Minyak Biji Randu

No.	Komposisi	Biji (%)	Kernel (%)	Kulit(%)	Daging(%)
1	Kadar air	9,90	6,90	9,30	7,80
2	Minyak	19,50	29,60	0,90	7,40
3	Protein	19,40	30,30	3,80	44,80
4	Serat Kasar	22,60	4,80	46,10	9,90
5	Abu	4,70	6,90	2,60	5,60

Sumber : Ketaren, 1986, dikutip dari Krischenbauer, 1960

Hidrokarbon yang terdapat dalam minyak biji randu adalah squalene. Minyak tersebut mengandung 0,004 – 0,120 % squalene dengan biji randu yang masih murni. Sedangkan menurut Kufmann jumlah total hidrokarbon sebesar 0,25 %. Pada suhu kamar minyak biji randu dapat larut dalam pelarut pada berbagai zat, tetapi tidak larut di dalam furfural dan pelarut polar seperti aseton metil asetas. Pembakaran 1 gram minyak biji randu menghasilkan 9500 kalori dengan indeks refraksinya pada suhu 20 °C sebesar 1,4724.

Nilai titik asap, titik api dan titik nyala pada minyak biji randu, dengan biji randu yang murni dan mengandung asam lemak bebas sebesar 0,01-0,03 % dan mempunyai titik asap 221,1 – 232,2 °C, titik nyala 323,8 – 329,4 °C dan titik api 357,2 – 362,7 °C. Dan pada minyak kasar mengandung asam lemak bebas sebesar 1,8 % yang mempunyai nilai titik asap, titik nyala dan titik api sebagai berikut: 145 °C, 293,3 °C, dan 356,1 °C.

Minyak pohon randu ini biasanya digunakan sebagai alat penerangan, minyak pelumas, campuran lemak babi, minyak salad, bahan untuk membuat sabun dan margarin, serta mertega putih. Dan pada pembahasan ini, minyak randu akan digunakan sebagai isolasi dari peralatan tegangan tinggi, struktur minyak pohon randu yang akan diamati adalah tingkat keasaman dan sifat dasar minyak pohon randu.

Dalam pengelolaan minyak pohon randu ini dilakukan pemurnian agar menghilangkan rasa, bau dan warna yang kurang menarik (kecoklatan) dan dapat memperpanjang masa simpan minyak, dikarenakan minyak randu mengandung kotoran yang larut dan tidak larut dalam minyak randu. Kotoran yang larut dalam minyak randu yaitu asam lemak bebas, aldehida, keton, zat warna serta tokoferol. Sedangkan yang tidak larut di dalam minyak randu yaitu getah, lendir, protein, fosfatida yang berasal dari sumber minyak. (Sardjono, 1983 dikutip oleh Ketaren, 1986)

2.6 Faktor Efisiensi Medan Listrik

Pada berbagai susunan elektroda dengan bentuk geometris tertentu melalui pengujian tegangan tinggi tentu akan memiliki karakteristik tegangan tembus yang berbeda pula. Hal ini disebabkan karena dengan susunan elektroda dengan geometris yang berbeda, distribusi medan listriknya juga akan berbeda. Dikarenakan distribusi medan yang berbeda pula maka tidak hanya karakteristik tegangan tembus yang berbeda, tetapi mempengaruhi karakteristik yang lain juga. Misalnya pada susunan elektroda bola-piring tentu berbeda distribusi medan listriknya dengan susunan elektroda jarum-piring. Besar faktor efisiensi medan listrik (η) pada berbagai konfigurasi susunan elektroda dengan bentuk geometris tertentu dapat didefinisikan menurut Schwaiger yaitu sebagai berikut: (Schwaiger, 2005):

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}} \quad (2-4)$$

atau dapat ditulis,

$$E_{rata-rata} = \eta \cdot E_{maksimum} \quad (2-5)$$

$$E_{rata-rata} = \frac{U_d}{s} \quad (2-6)$$

Keterangan:

- η : efisiensi medan listrik pada susunan elektroda
- $E_{rata-rata}$: kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)
- $E_{maksimum}$: kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm)
- U_d : tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)
- s : jarak sela antar elektroda (cm)

Pada susunan elektroda keping sejajar, distribusi medan listriknya homogen sehingga besar Emaksimum sama dengan Erata-rata. Sebaliknya pada distribusi medan listrik non homogen akan terdapat kuat medan listrik lokal pada daerah tertentu yang nilainya lebih besar dari kuat medan listrik rata-ratanya. Dengan demikian, maka batas nilai faktor efisiensi medan listrik untuk berbagai susunan elektroda dengan bentuk geometris tertentu memenuhi syarat: $\eta < 1$.

Besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen, misal susunan elektroda pelat sejajar, maka $\eta = 1$. Sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non homogen seperti susunan elektroda bola-piring, maka $\eta < 1$.

Selain mengacu pada persamaan diatas, faktor efisiensi medan listrik dapat pula ditentukan secara empiris dengan menyatakan η sebagai fungsi dari satu atau dua besaran karakteristik geometris susunan elektroda p dan q. Berdasarkan pada buku faktor efisiensi geometri elektroda menurut Schwaiger halaman pertama, maka:

$$p = \frac{s+r}{r} \quad (2-7)$$

$$q = \frac{R}{r} \quad (2-8)$$

Keterangan:

s : jarak sela (cm)

r : jari-jari elektroda bawah (cm)

R : jari-jari elektroda atas (cm), berlaku $r < R$

Nilai dari η fungsi p dan q tersebut untuk bermacam-macam susunan elektroda nantinya dapat dilihat pada buku faktor efisiensi geometri elektroda menurut Schwaiger. Apabila besar efisiensi medan η diketahui, maka kuat medan listrik yang menyebabkan terjadi tembus pada dielektrik dalam sela elektroda dapat ditentukan, yaitu:

$$U_d = E_d \times s \times \eta \quad (2-9)$$

$$E_d = \frac{U_d}{s \times \eta} \quad (2-10)$$

Keterangan:

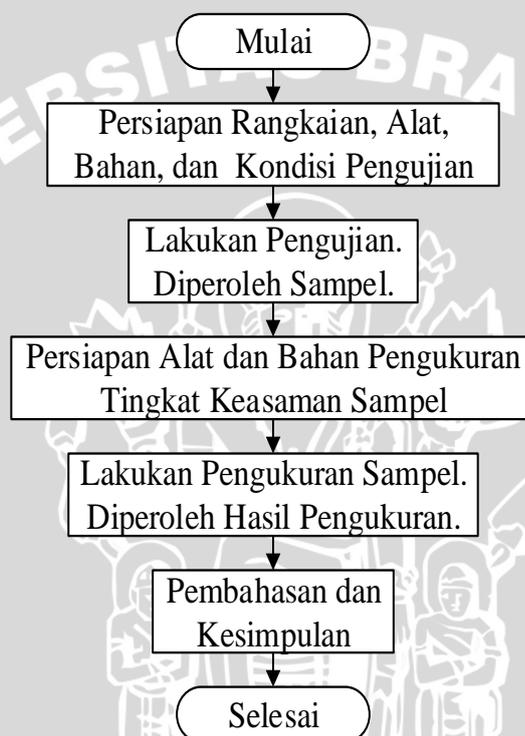
U_d : tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)

E_d : kuat medan listrik yang menyebabkan terjadi tembus (kV/cm)

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini akan dijelaskan secara ringkas oleh sebuah diagram alir yang mewakili bagaimana minyak randu diuji menggunakan medan listrik dan temperatur yang kemudian diukur derajat pH dan angka kenetralannya, serta sisanya merupakan rincian dari diagram alir metode penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian

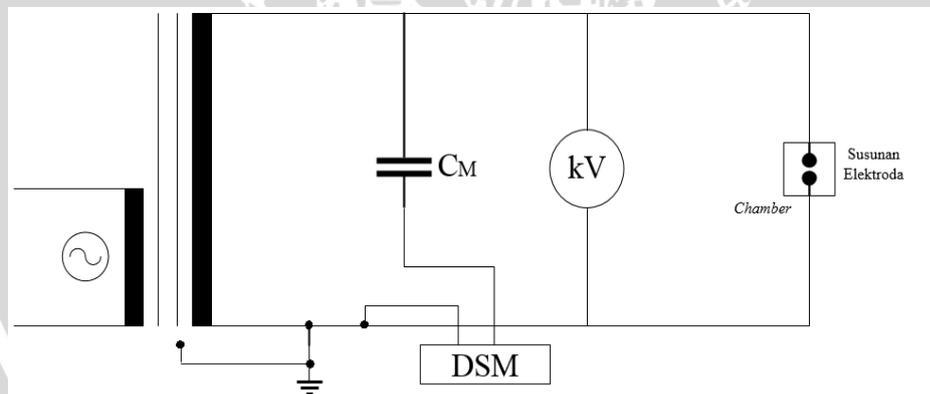
3.1 Metode Pengujian

Pengujian minyak randu sebagai minyak transformator dilakukan dengan menerapkan suhu tertentu dengan waktu tertentu, dan juga menerapkan tegangan tinggi dengan berbagai level tegangan AC dan DC.

3.2 Rangkaian Pengujian

3.2.1 Rangkaian Pengujian AC

Dalam pengujian minyak isolasi randu digunakan tegangan bolak-balik (AC). Hal ini menunjukkan di dalam kenyataan yang digunakan tegangan bolak-balik untuk pengujian pada transformator yang di dalamnya ada minyak isolasi. Pada pengujian ini digunakan elektroda bola-bola sebagai parameter uji distribusi medan yang homogen. Dan faktor efisiensi pada susunan elektroda yaitu $\eta = 1$. Untuk mengetahui tegangan yang bekerja pada susunan elektroda, terminal tegangan tinggi dihubungkan ke salah satu elektroda bola dan elektroda bola yang lain ditanahkan. Sedangkan pada elektroda jarum-piring digunakan untuk mengetahui distribusi medan yang non homogen yaitu $\eta \leq 1$, dimana terminal tegangan tinggi AC dihubungkan dengan elektroda jarum dan elektroda piring ditanahkan. Berikut ini rangkaian untuk pembangkitan tegangan tinggi AC:

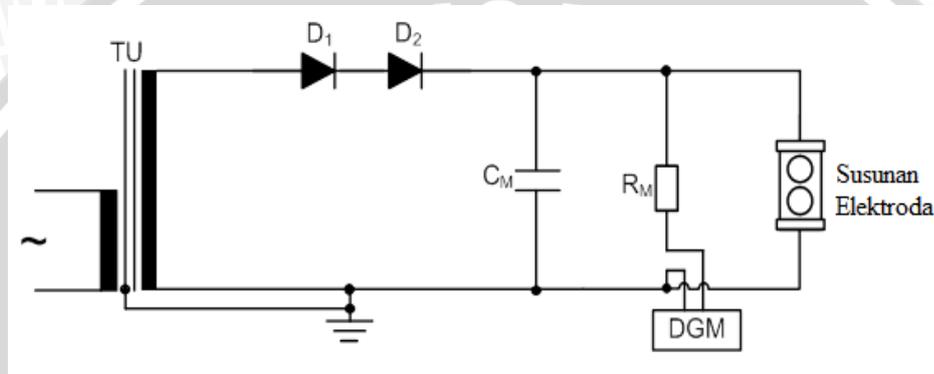


Gambar 3. 2 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi AC

Pada Gambar 3.2, rangkaian menunjukkan transformator uji dihubungkan paralel dengan C_M (pembagi kapasitif) untuk dapat diukur tegangannya. Tegangan ukurnya diukur menggunakan *control desk* yang digunakan kabel penghubung DSM pada *control desk*, kotak uji atau chambers dihubungkan paralel dengan trafo uji dan C_M serta elektroda bola atau jarum di dalam *chambers* bagian atas dihubungkan dengan tegangan sedangkan elektroda bola atau piring yang bawah ditanahkan.

3.2.2 Rangkaian Pengujian DC

Tegangan tinggi DC diperlukan untuk menguji isolasi, untuk memuat sumber energi kapasitif, dan untuk penggunaan lain dalam fisika dan teknik, terutama untuk melihat perilaku dielektrik (Kind, 1993:119), pada pengujian kali ini rangkaian penggunaan DC digunakan untuk melihat perilaku dielektrik cair apabila diberi tegangan searah. Sedangkan perlakuan untuk objek uji sama seperti rangkaian pengujian AC, hanya berbeda di rangkaian penghubung transformator dengan objek uji yaitu menggunakan rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC. Berikut rangkaian pengujian tegangan DC untuk pengujian minyak randu:



Gambar 3. 3 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi DC

Gambar 3.3 menunjukkan rangkaian transformator uji dihubungkan seri dengan dioda, disini digunakan dua dioda agar tidak ada arus balik yang besarnya dua kali tegangan maksimum dari sumber AC. Dan pada rangkaian dihubungkan paralel dengan C_s (pembagi tegangan) dan R_M (pengaman *control desk*).

3.3 Persiapan Alat dan Fungsinya

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

- a. HV Transformer (Trafo uji) : 220 V/ 100 kV, 5 kVA, 50 Hz
- b. CM : Pembagi Kapasitif 100 pF
- c. C_s : Pembagi Kapasitif 1000 pF
- d. D1,D2 : Penyearah tegangan 140 kV
- e. RM : Resistor Pengukuran 280 M Ω
- f. Re : Resistor Pengukuran 10 M Ω
- g. Chamber : Kotak Uji
- h. SB (Sela Bola) : Jarak antar elektroda

- i. JP (Jarum-piring) : Susunan elektroda jarum-piring
- j. BB (Bola-Bola) : Susunan elektroda bola-bola
- k. DSM : Alat ukur tegangan tinggi AC
- l. DGM : Alat ukur tegangan tinggi DC
- m. Gelas Ukur : Mengetahui volume minyak randu
- n. Stopwatch : Pengukur waktu
- o. Kompor Listrik : Untuk memanaskan minyak
- p. Termometer : Untuk mengetahui suhu minyak

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

- a. HV Transformer (Trafo Uji), transformator ini dapat menaikkan tegangan sampai 100 kV, dengan daya yang dikeluarkan sebesar 5 kVA, dan frekuensi yang digunakan sesuai standar PLN, yaitu 50 Hz.
- b. CM merupakan kapasitor pengukuran yang berfungsi sebagai perata tegangan dan pelindung meja kontrol (control desk).
- c. Cs merupakan kapasitor pengukuran pada DC yang difungsikan sebagai perata dan pelindung meja control (control desk).
- d. D1,D2 difungsikan untuk penyearah tegangan AC 140 kV.
- e. RM merupakan pengaman alat ukur pada pengukuran tegangan tinggi DC pada DGM
- f. Re merupakan pengaman alat ukur pada ampermeter pada pengukuran tegangan tinggi DC
- g. Chamber, ruang uji digunakan sebagai wadah tempat pengujian minyak isolasi
- h. SB, Sela Bola digunakan sebagai indikator atau petunjuk bahwa distribusi tegangan pada minyak isolasi sudah terjadi.
- i. JP, Jarum-piring digunakan sebagai elektroda pengujian dan pembanding hasil pengujian bola-bola
- j. BB, Bola-Bola digunakan sebagai indikator tembus pada minyak isolasi dan mengetahui arus konduktansi
- k. DSM merupakan alat ukur yang berada di meja control (control desk), dan fungsi dari DSM adalah sebagai pengukur tegangan tinggi AC.
- l. DGM merupakan alat ukur yang berada di meja control (control desk), dan fungsi dari DGM adalah sebagai pengukur tegangan tinggi DC.

- m. Gelas ukur, digunakan sebagai wadah untuk mengetahui volume minyak randu yang di dalam penelitian.
- n. Stopwatch, pengukur waktu yang digunakan untuk indikasi waktu lama pemaparan.
- o. Kompor listrik, untuk memanaskan minyak sesuai dengan suhu yang diinginkan.
- p. Termometer, sebagai penunjuk parameter untuk suhu minyak yang dipanaskan oleh kompor listrik.

3.4 Kondisi Pengujian

3.4.1 Pengujian Kenaikan Suhu

Pada kondisi pengujian untuk kenaikan suhu, minyak terlebih dahulu dipanaskan menggunakan kompor listrik, kemudian selama dipanaskan, ditentukan suhu yang ingin dicapai. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, kemudian regulator kompor listrik ditahan sehingga suhu dapat tetap selama waktu yang telah ditentukan. Hal ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana pengaruh suhu terhadap tingkat keasaman minyak randu apabila suhu dijaga tetap selama waktu yang diinginkan. Diambil batas bawah 50° C karena suhu 40° C adalah suhu normal untuk minyak digunakan. Sedangkan diambil batas atas 90° C, karena suhu 100° C menyebabkan kondisi fisik minyak rusak (batas atas ini berlaku untuk minyak transformator, sedangkan untuk minyak randu mengikuti batas atas minyak transformator). Untuk variabel yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Suhu dan Waktu Pemanasan

Suhu (°C)	Waktu (detik)
50	60
	300
	600
60	60
	300
	600
70	60
	300
	600
80	60
	300
	600
90	60
	300
	600

3.4.2 Pengujian Medan Homogen

Pada kondisi pengujian medan homogen, susunan elektroda yang digunakan adalah bola-bola. Hal ini dilakukan karena pada susunan-susunan elektroda tersebut, faktor efisiensinya menurut Schwaiger dengan jarak sela 2,5 cm dan diameter 5 cm, cukup tinggi, mencapai 0,8. Sehingga susunan elektroda tersebut dapat mewakili karakteristik dari medan homogen.

Susunan-susunan elektroda tersebut dipasang pada chamber rangkaian AC dan DC secara bergantian, dan waktunya ditentukan dengan jarak yang tidak terlalu lama. Kemudian minyak randu dituangkan dalam chamber yang sudah dipasang susunan elektroda tadi. Sedangkan tegangan yang diberikan adalah bertahap sampai 12 kV, karena 12 kV adalah batas tegangan tembus untuk minyak randu murni. Setelah tegangan diberikan dan lama pemaparan sesuai dengan pengujian dan selesai, maka minyak yang diberikan pemaparan tadi diambil dan diukur tingkat keasamannya. Lama waktu pemaparan dibutuhkan untuk melihat apakah dengan level variabel yang ditentukan, juga berpengaruh terhadap tingkat keasaman. Variabel yang akan digunakan untuk kondisi pengujian medan homogeny tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Tingkat Tegangan AC dan DC yang Diberikan dan Lama Pemaparan

Tingkat Tegangan (kV)	Lama Pemaparan (detik)
0	0
	60
3	300
	600
	60
6	300
	600
	60
9	300
	600
	60
12	300
	600
	60
>12 (saat tembus)	-

3.4.3 Pengujian Medan Non Homogen

Pada kondisi pengujian medan non homogen, langkah dan perlakuannya sama seperti kondisi pengujian pada medan homogen, namun susunan elektrodanya diganti untuk mewakili karakteristik medan non homogen, yaitu menggunakan susunan jarum-

piring. Susunan jarum-piring dianggap susunan elektroda yang non homogen dikarenakan jarum-piring sangat berbeda jauh bentuk fisiknya. Tabel dan variabel pengujian yang digunakan juga sama seperti pengujian pada medan homogen.

3.5 Metode Pengukuran

Pengukuran angka kenetralan dan tingkat pH dilakukan di Laboratorium Biopangan Universitas Brawijaya. Pengukuran dilakukan setelah objek uji melalui pengujian kenaikan suhu dan penerapan tegangan tinggi.

3.5.1 Persiapan dan Fungsi Alat dan Bahan

- a. Neraca Analitik, dengan ketelitian 4 angka desimal, digunakan untuk mengukur berat dari berbagai macam bahan yang membutuhkan angka sangat terperinci.
- b. Labu Erlenmeyer, sebagai tempat untuk mencampur bahan, termasuk keperluan titrasi.
- c. Labu Ukur, dengan kapasitas 500 mL, digunakan untuk membuat dan sebagai wadah penyimpanan larutan KOH 0,1 M.
- d. Gelas Beker, dengan kapasitas 250 mL, digunakan sebagai wadah penampung untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan.
- e. Buret, digunakan untuk meneteskan reagen cair pada eksperiman seperti titrasi, dengan presisi yang akurat.
- f. *Waterbath Shaker*, digunakan untuk memanaskan bahan dengan media air sampai suhu tertentu.
- g. Pipet tetes, berfungsi untuk meneteskan cairan.
- h. pH meter, dengan ketelitian 2 angka desimal, digunakan untuk mengukur angka pH suatu bahan.
- i. Sampel minyak, dibutuhkan 5 mg setiap sampelnya.
- j. Alkohol netral, digunakan sebagai bahan campuran dalam proses titrasi.
- k. Larutan KOH 0,1 M, digunakan sebagai penetral asam sesuai aturan IEC 296 karena bersifat basa.
- l. Larutan *phenoptalein*, digunakan sebagai indikator.
- m. Asam oksalat, digunakan untuk mengetahui normalitas KOH.

3.5.2 Langkah-langkah Pengukuran Angka pH

Untuk mengetahui angka pH, digunakan pH meter dengan ketelitian 2 angka desimal, berikut langkah-langkahnya:

1. Siapkan sampel minyak sebanyak 10 mL dalam wadah.

2. Siapkan pH meter.
3. Bersihkan sensor pH dengan akuades.
4. Masukkan sensor pH yang ada pada pH meter ke dalam wadah sampai tercelup.
5. Tunggu sekitar 30 detik, catat angka pH yang tertera pada pH meter.
6. Bersihkan lagi sensor pH dengan akuades.
7. Sampel berikutnya siap untuk dicatat angka pHnya.
8. Sebelum menonaktifkan pH meter, bersihkan sensor pH dengan alkohol.

3.5.3 Langkah-langkah Pengukuran Angka Kenetralan

Pengukuran angka kenetralan minyak randu menggunakan metode titrasi. Prosedur pengukuran kandungan asam mengacu pada standar IEC 296. Angka kenetralan (NV) mempunyai rumus sebagai berikut:

$$NV = \frac{V \cdot N \cdot m_{KOH}}{m} \quad (3-1)$$

$$NV = \frac{V \cdot N \cdot 56,1}{m} \quad (3-2)$$

dimana:

V : Volume KOH yang digunakan dalam titrasi (mL)

N : Normalitas KOH

m : Massa sampel minyak (gr)

m_{KOH} : Massa atom KOH

Berikut langkah-langkah mencari V:

1. Buat dua sampel, salah satunya sebagai indikator dan satunya untuk diuji.
2. Sampel pertama berisi alkohol 50 mL, sampel kedua berisi alkohol 50 mL dengan ditambahkan objek minyak randu sebanyak 5 mg (ditimbang menggunakan neraca analitik).
3. Kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang berbeda.
4. Kedua sampel dipanaskan dengan suhu 70 – 75 °C selama kurang lebih 10 menit agar asam yang terkandung dalam minyak akan terlarut dalam alkohol. Proses ini dinamakan refluks.
5. Kemudian minyak didinginkan.
6. Sebagai indikator ditambahkan 4 tetes phenoptalein ke dalam kedua labu erlenmeyer.

7. Sampel diletakkan di bawah tabung buret. Kran buret yang telah berisi larutan KOH 0.1 N dibuka dan setiap tetesan KOH sampel diaduk, proses ini dinamakan titrasi.
8. Lanjutkan titrasi sampai sampel berwarna kemerahan.
9. Catat berapa mL KOH 0,1 M yang terpakai untuk membuat sampel berwarna kemerahan (warna kemerahannya tidak hilang).
10. Kurangkan mL KOH yang terpakai pada sampel 2 dengan mL KOH pada sampel 1.
11. Hasil pengurangan adalah V.

Berikut langkah-langkah mencari N:

1. Buat dua sampel, masing-masing adalah 25 mL akuades ditambahkan dengan 0,1 gr asam oksalat (ditimbang dengan neraca analitik).
2. Kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang berbeda.
3. Kedua sampel dipanaskan dengan suhu 70 – 75 °C selama kurang lebih 10 menit, hal ini dimaksudkan agar asam oksalat bercampur dengan akuades.
4. Kemudian sampel didinginkan.
5. Sebagai indikator ditambahkan 4 tetes phenoptalein ke dalam kedua labu Erlenmeyer.
6. Titrasi menggunakan KOH sampai kedua sampel berwarna kemerahan, dan warna kemerahannya tidak hilang.
7. Catat berapa mL KOH yang terpakai pada kedua sampel.
8. Rumusan untuk mencari N adalah:

$$N = \frac{m_{as} \cdot 2}{V_{KOH} \cdot (m_{asam\ oksalat} / 1000)} \quad (3-3)$$

$$N = \frac{m_{as} \cdot 2}{V_{KOH} \cdot 0,126} \quad (3-4)$$

dimana:

m_{as} : massa asam oksalat (gr)

V_{KOH} : volume KOH (mL)

9. Rata-ratakan N yang didapat dari kedua sampel.
10. Didapatkan N yang akan dimasukkan ke persamaan (3-1).

3.6 Analisis Data

1. Analisis pengaruh medan listrik terhadap perubahan tingkat keasaman pH dan angka kenetralan minyak randu.
2. Analisis pengaruh temperatur terhadap perubahan tingkat keasaman pH dan angka kenetralan minyak randu.



BAB IV

PEMBAHASAN HASIL PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDAN LISTRIK TERHADAP PERUBAHAN TINGKAT KEASAMAN MINYAK RANDU

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengaruh suhu dan medan listrik terhadap perubahan tingkat keasaman minyak randu. Standar yang digunakan adalah Standar Perusahaan Umum Listrik Negara No. 49-1: 1982, sehingga standar angka kenetralan yang digunakan untuk minyak transformator digunakan juga pada minyak randu.

Parameter-parameter yang mempengaruhi terhadap tingkat keasaman minyak randu dalam lingkup temperatur dan medan listrik akan dipaparkan dalam bab ini. Pemanasan dengan tingkatan temperatur yang bervariasi antara 50° sampai 90° Celcius dengan selisih 10° C tiap tingkatannya, serta lamanya pemanasan tiap tingkatan temperatur akan disajikan dalam bab ini, dengan tambahan data berupa level keasaman yang dapat mempresentasikan derajat keasaman larutan, dalam hal ini minyak randu, yaitu derajat pH. Selain pengaruh suhu, parameter dalam medan listrik juga akan disajikan; pemaparan tegangan tinggi dengan level yang bervariasi dari 3 kV sampai 12 kV, keadaan setelah tembus, jenis tegangan yang digunakan yaitu tegangan AC dan tegangan DC, tidak lupa juga lama pemaparan tegangan adalah parameter dalam lingkup medan listrik.

Tingkat keasaman akan dibagi menjadi dua jenis, yaitu pH dan angka kenetralan. Analisis serta penyajian data yang didapat dari hasil pengujian dan pengukuran akan dikelompokkan sesuai dengan parameter-parameter yang ada. Sehingga subbab-subbab pada bab ini akan menjelaskan mengenai pengaruh masing-masing parameter.

4.1 Tingkat Keasaman Minyak Randu dan *Shell Diala B*

Pada subbab ini akan disajikan data mengenai tingkat keasaman minyak randu murni, dan minyak transformator yang digunakan oleh PT PLN (Persero), yaitu merk *Shell Diala B*. Dua jenis sampel minyak ini diukur derajat pH dan angka kenetralannya.

Berikut tabel derajat pH beserta angka kenetralan minyak randu murni dan *Shell Diala B*:

Tabel 4.1 Derajat pH Minyak Randu Murni dan Shell Diala B

Jenis Minyak	Derajat pH
Minyak Randu Murni	4,65
Shell Diala B	6,98

Tabel 4.2 Angka Kenetralan Minyak Randu Murni dan Shell Diala B

Jenis Minyak	Angka Kenetralan			
	V (mL)	m (gr)	N	AN (mg KOH/gr)
Minyak Randu Murni	15,80	5,1224	0,0777	13,4366
Shell Diala B	00,05	5,2801	0,0565	00,0300

Tabel 4.1 menjelaskan derajat pH minyak randu murni yang levelnya jauh lebih asam daripada minyak *Shell Diala B*. Minyak randu murni berarti bahwa minyak ini tidak mendapat campuran apapun dan tidak mengalami perlakuan filterisasi apapun, sehingga didapat derajat pH minyak randu yang murni. Sedangkan pada Tabel 4.2, menjelaskan mengenai angka kenetralan, yaitu angka yang dibutuhkan untuk menetralkan minyak menggunakan KOH sebesar mg KOH/gr minyak yang ingin dinetralkan asamnya. Berdasarkan Tabel 4.2 minyak randu murni memerlukan 13,43655 mg KOH/gr untuk menetralkan minyak randu dari keasaman, angka ini jauh lebih besar dibandingkan dengan angka kenetralan pada minyak *Shell Diala B* yang hanya membutuhkan 0,030015 mg KOH/gr. Dari kedua tabel ini dapat disimpulkan bahwa **minyak randu murni sangat tidak dianjurkan** untuk dipakai penggunaannya sebagai isolasi minyak transformator dikarenakan batas standar dari PLN sendiri untuk angka kenetralan adalah dibawah 0,03 mg KOH/gr.

4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu

Pada pengujian pengaruh temperatur, minyak randu dipanaskan menggunakan kompor listrik yang tingkat temperaturnya dapat diatur. Menggunakan termometer yang dicek secara *continue* pada minyak yang dipanaskan untuk menjaga temperatur minyak randu agar tidak kurang atau berlebihan dari parameter yang ditentukan. Minyak yang telah memenuhi parameter diambil sampelnya sebanyak 10 miligram. Kemudian minyak yang telah diambil sampelnya diukur tingkat keasamannya.

4.2.1 Pengaruh Temperatur terhadap pH Minyak Randu

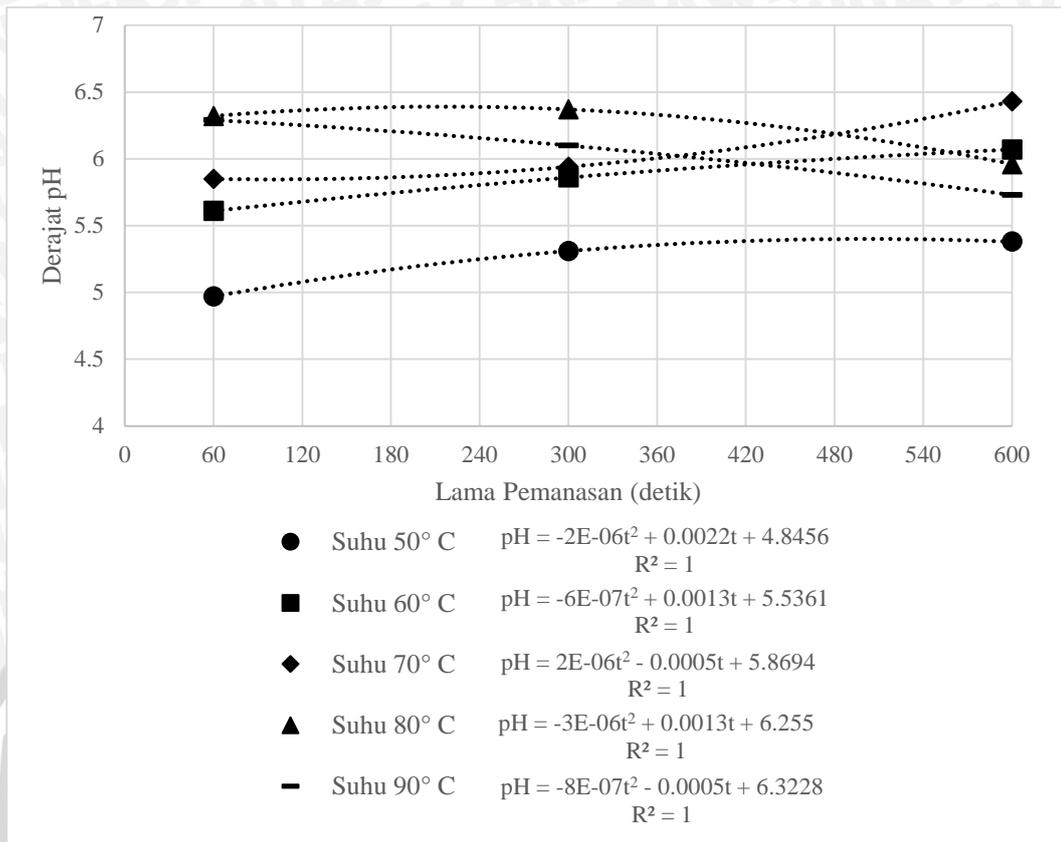
Pengukuran pH pada sampel-sampel minyak randu yang telah menyesuaikan parameter temperatur diukur menggunakan pH meter digital merk Ezdo dengan ketelitian dua angka desimal. Berikut hasil pengukuran derajat pH:

Tabel 4.3 Pengaruh Temperatur terhadap Derajat pH Minyak Randu

Temperatur (°C)	Waktu (detik)	pH	pH trendline	Δ pH	Rata-rata Penyimpangan pH
50	60	4,97	4,97	0,00	-0,020
	300	5,31	5,32	-0,01	
	600	5,38	5,44	-0,06	
60	60	5,61	5,61	0,00	-0,010
	300	5,86	5,87	-0,01	
	600	6,07	6,10	-0,03	
70	60	5,85	5,90	0,05	-0,210
	300	5,94	6,19	-0,25	
	600	6,43	6,88	-0,45	
80	60	6,32	6,32	0,00	0,003
	300	6,37	6,37	0,00	
	600	5,96	5,95	0,01	
90	60	6,29	6,29	0,00	0,000
	300	6,10	6,10	0,00	
	600	5,73	5,73	0,00	

Berdasarkan Tabel 4.3, dijelaskan bahwa derajat pH yang paling mendekati derajat pH netral, yaitu 7 adalah pada saat minyak randu dipanaskan dengan temperatur 70° C dengan lama pemanasan 10 menit. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kandungan air yang ada pada minyak randu mengalami penguapan saat dipanaskan dengan suhu optimal 70° C, sehingga tingkat kandungan air dalam minyak berkurang dan menurunkan nilai keasaman pada minyak randu.

Tabel 4.3 juga menjelaskan bahwa pada saat temperatur mencapai 80° C fisik minyak randu mengalami kerusakan. Kerusakan ini ditandai dengan menurunnya derajat pH dari 70° C dengan nilai 6,43 menjadi 5,96 pada saat temperatur 80° C.



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Derajat pH terhadap Lama Pemanasan pada temperatur 50° C, 60° C, 70° C, 80° C, dan 90° C.

Jika dianalisis menurut *trendline*, pada Gambar 4.1 dengan persamaan yang didapat pada suhu 60° C, $pH = -0,0000006t^2 + 0,0013t + 5,5361$, dengan mengambil suhu 60° C dengan lama pemanasan 60 detik, maka perhitungan sebagai berikut:

$$pH = f(t)$$

$$pH = -0,0000006x^2 + 0,0013x + 5,5361$$

$$pH = -0,0000006(60^2) + 0,0013(60) + 5,5361$$

$$pH = 5,61$$

Perhitungan *trendline* pH selanjutnya pada minyak randu dengan parameter temperatur dapat dilihat pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 merupakan tabel perbandingan data hasil pengujian dengan *trendline*, dan dari tabel tersebut didapatkan nilai penyimpangan yang kecil pada temperatur 60° C yaitu -0,01. Nilai penyimpangan ini masih dalam batas toleransi kesalahan.

Berdasarkan kenaikan temperatur yang optimal pada 70° C, maka minyak randu hanya dapat digunakan pada transformator dengan isolasi kelas A karena bekerja pada temperatur minimal 55° C, sedangkan untuk kelas lainnya tidak dapat digunakan karena

untuk kelas B, F, N, dan H temperatur kerja minimalnya masing-masing berturut-turut adalah 80° C, 115° C, 130° C, dan 150° C.

Untuk melihat apakah minyak mengalami reaksi hidrolisis (penguraian air), maka minyak dipanaskan berulang kali pada temperatur 70° C dengan lama pemanasan 600 detik karena 70° C adalah variabel yang membuat derajat pH melonjak paling jauh dari temperatur yang lain. Berikut disediakan tabel yang berisi hasil pengukurannya:

Tabel 4. 4 Derajat pH Minyak Randu pada Kondisi Pemanasan Berulang

Temperatur (°C)	Kondisi	pH
70	Saat 70° C	6,41
	Didinginkan sampai suhu ruangan (24-25° C)	6,43
	Dipanaskan lagi sampai 70° C	6,36
	Didinginkan kembali sampai suhu ruangan (24-25° C)	6,33

Dapat dibuat kesimpulan berdasarkan Tabel 4.4, derajat pH minyak randu pada saat pemanasan pertama kali dan pada pendinginan pertama kali pada suhu ruangan hampir sama, tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini terjadi karena adanya penguraian air ke udara dan asam yang bersifat jenuh pada minyak menjadi berkurang, sedangkan kandungan asam yang bersifat tak jenuh menjadi lebih tinggi karena pemanasan. Namun ketika minyak dipanaskan yang kedua kali, asam tak jenuh yang tinggi tersebut menjadi asam jenuh sehingga menyebabkan minyak mudah rusak dikarenakan terkena temperatur yang tinggi. Hal ini dapat dilihat dari menurunnya derajat pH dari pemanasan pertama kali ke yang kedua kali.

4.2.2 Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Pengukuran angka kenetralan pada sampel-sampel minyak randu yang telah menyesuaikan parameter temperatur diukur menggunakan metode titrasi. Prosedur pengujian angka kenetralan yang mengacu pada standar IEC 296 ini menghasilkan data pengukuran sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Angka Kenetralan			
		V (mL)	m (mg)	N	AN (mg KOH/gr)
50	600	15,05	5,2289	0,0777	12,5381
60	600	12,75	5,1556		11,7730
70	600	11,95	5,0074		10,3959
80	600	13,35	5,1989		11,1860
90	600	15,25	5,4063		12,2878

Tabel 4.5 menjelaskan mengenai pengaruh dari temperatur terhadap angka kenetralan (AN), di mana V adalah volume dalam mililiter KOH yang dipakai untuk menetralkan minyak randu seberat m , dan N adalah banyaknya zat KOH dalam berat ekuivalen (gram) dalam satu liter larutan pelarut (akuades). Serta untuk efisiensi perbandingan hanya digunakan lama pemanasan selama 10 menit.

Perhitungan dilakukan sesuai persamaan (3-1), dengan mengambil contoh pada sampel dengan temperatur 70° C, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$AN = \frac{V \cdot N \cdot 56,1}{m}$$

$$AN = \frac{11,65 \times 0,07765 \times 56,1}{5,0074} \text{ mg KOH/gr}$$

$$AN = \frac{50,7493}{5,0074} \text{ mg KOH/gr}$$

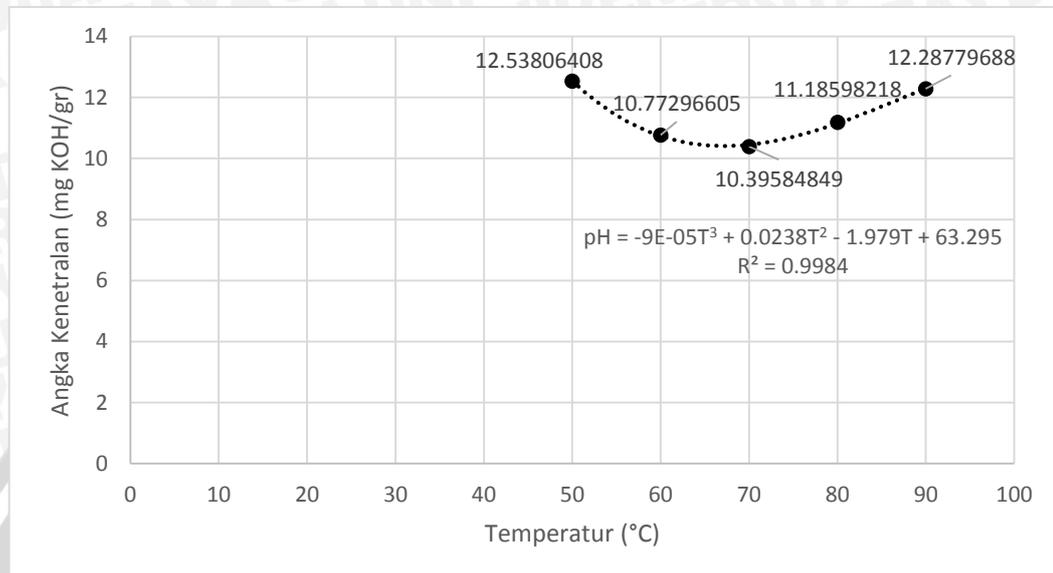
$$AN = 10,13486 \text{ mg KOH/gr}$$

dengan menggunakan persamaan yang sama pada tiap sampel, maka didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel 4.5.

Berdasarkan data pengukuran pada Tabel 4.5, temperatur mempengaruhi masing-masing sampel dengan hasil yang berbeda. Angka kenetralan selalu menurun setiap kali terjadi pemanasan. Hal ini terjadi dikarenakan dengan pemanasan pada temperatur tertentu, minyak randu mengalami proses filterisasi, yaitu proses menyaring minyak menjadi lebih mendekati standar daripada kondisi sebelumnya. Filterisasi pada minyak randu dengan pemanasan ini mengakibatkan menguapnya kandungan air pada minyak randu. Selain kandungan air, tingkat ketahanan terhadap oksidasi juga meningkat seiring kandungan air menurunnya menurun.

Air mengandung unsur oksigen. Ketika kadar kandungan air dalam minyak menurun, kadar oksigen dalam minyak juga menurun. Oksigen dalam minyak dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi apabila bersentuhan dengan udara. Oksidasi

menghasilkan asam yang dapat menimbulkan karat dan *sludge* apabila bersentuhan lama dengan tembaga. Maka dengan berkurangnya kandungan air dalam minyak, angka kenetralan juga berkurang nilainya.



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Angka Kenetralan Terhadap Temperatur dengan Lama Pemanasan 600 Detik

Berdasarkan Gambar 4.2, dengan lama pemanasan 600 detik atau 10 menit, angka kenetralan paling menurun dari minyak randu murni (subbab 4.1) adalah saat dipanaskan dengan temperatur 70° C. Temperatur 70° C juga merupakan titik balik dari angka kenetralan minyak randu ini. Ketika dipanaskan dengan suhu 80° C, angka kenetralan menjadi bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa 70° C adalah temperatur optimal untuk pemanasan minyak randu.

Dapat dilihat juga bahwa angka kenetralan berkurang secara linier terjadi saat minyak dipanaskan pada temperatur 50° C sampai 70° C. Namun angka kenetralan kembali bertambah saat minyak randu kembali dipanaskan dengan suhu 80° C sampai 90° C. Berkurangnya angka kenetralan ini terjadi dikarenakan adanya pemanasan terhadap minyak randu, sehingga kandungan asamnya berkurang, sedangkan pada temperatur 80° C sampai 90° C angka kenetralan semakin bertambah, hal ini disebabkan oleh menuanya minyak randu akibat dipanaskan melebihi ketahanannya.

Tabel 4. 6 Data *Trendline* Pengukuran Pengaruh Temperatur terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Temperatur (°C)	Angka Kenetralan			Rata-rata Penyimpangan
	AN	AN <i>trendline</i>	Δ AN	
50	12,5381	12,5950	-0,0569	0,1638
60	11,7730	10,7950	0,9840	
70	10,3959	10,5150	-0,1191	
80	11,1860	11,2150	-0,0290	
90	12,2878	12,3550	-0,0672	

Berdasarkan Tabel 4.6, data hasil pengukuran dengan data hasil analisis *trendline* memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh, hal ini dapat terlihat dari nilai rata-rata penyimpangan yang bernilai 0,1638. Sehingga data pengukuran pengaruh temperatur terhadap angka kenetralan ini memiliki keakuratan tinggi karena hampir menyamai data dari analisis *trendline*.

Berikut juga akan ditampilkan data mengenai akibat dari pemanasan berulang seperti pada Tabel 4.4, namun hasil pengukuran merupakan angka kenetralan:

Tabel 4. 7 Derajat pH Minyak Randu pada Kondisi Pemanasan Berulang

Temperatur (°C)	Kondisi	Angka Keasaman			
		V (mL)	m (mg)	N	AN (mg KOH/gr)
70	Saat 70° C	16,90	5,2010	0,0565	10,2994
	Didinginkan sampai suhu ruangan (24-25° C)	11,95	5,0074	0,0777	10,3958
	Dipanaskan lagi sampai 70° C	17,50	5,1802	0,0565	10,7079
	Didinginkan kembali sampai suhu ruangan (24-25° C)	18,40	5,3560	0,0565	10,8890

Berdasarkan Tabel 4.7, angka kenetralan bertambah saat dipanaskan yang kedua kali, ini artinya minyak menjadi lebih asam daripada pemanasan yang pertama kali. Hal ini sejalan dengan nilai derajat pH yang ada pada Tabel 4.4 dan dengan analisis yang sama, yaitu kandungan asam yang tak jenuh menjadi tinggi pada pemanasan pertama, dan asam tak jenuh ini menjadi asam yang jenuh pada pemanasan yang kedua sehingga menyebabkan minyak menjadi rusak.

4.3 Pengaruh Medan Listrik terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu

Pengujian medan listrik dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya. Medan listrik yang dijadikan parameter adalah medan listrik homogen dan non-homogen. Medan listrik homogen dilakukan dengan memakai elektroda bola-bola, sedangkan medan listrik non-homogen ditandai dengan memakai elektroda jarum-piring. Kemudian diterapkan tegangan tinggi AC dan DC pada sampel minyak randu sesuai parameter yang ditentukan. Setelah dilakukan pengujian medan listrik, kemudian dilakukan pengukuran tingkat keasaman pada sampel minyak. Hasil pengukuran akan disajikan pada subbab 4.3.

4.3.1 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu

Subbab ini akan menyajikan data pengukuran mengenai tingkat keasaman minyak randu sebagai isolasi apabila diterapkan medan homogen, yaitu memakai jenis elektroda bola-bola. Penyajian data pengukuran akan dijelaskan pada subbab berikut.

4.3.1.1 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu

Pada pengukuran derajat pH untuk medan listrik homogen, derajat pH tidak berubah, baik pada tegangan AC maupun pada tegangan DC. Berikut ditampilkan data pengukurannya:

Tabel 4. 8 Pengaruh Medan Listrik Homogen pada Derajat Ph Minyak Randu

Tingkat Tegangan AC (kV)	Waktu (detik)	pH	Tingkat Tegangan DC (kV)	Waktu (detik)	pH
3	60	4,64	3	60	4,68
	300	4,71		300	4,68
	600	4,68		600	4,66
6	60	4,70	6	60	4,69
	300	4,68		300	4,66
	600	4,69		600	4,65
9	60	4,72	9	60	4,67
	300	4,73		300	4,71
	600	4,68		600	4,72
12	60	4,78	12	60	4,68
	300	4,77		300	4,69
	600	4,60		600	4,66
13,56 (breakdown)	1x	4,42	26,43 (breakdown)	1x	4,22
	2x	4,40		2x	4,22
	3x	4,39		3x	4,20
	4x	4,39		4x	4,18
	5x	4,40		5x	4,18

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.8, derajat pH pada pemaparan medan listrik homogen dengan tegangan AC tidak merubah nilainya secara signifikan, derajat pH hanya bertambah dan berkurang tidak lebih dari 0.12 (lihat Tabel 4.1). Begitu juga dengan pemaparan menggunakan tegangan DC. Diperoleh kesimpulan bahwa medan listrik homogen tidak menyebabkan perubahan derajat pH minyak, perubahan yang sangat kecil hanya terjadi dikarenakan faktor lain seperti galat pada pH meter, masing-masing sampel yang terkena oksidasi berbeda, dan faktor lain yang mempengaruhi.

Selanjutnya bisa diperhatikan derajat pH minyak randu setelah terjadi *breakdown*, yaitu level asamnya menjadi menurun, dengan selisih dari minyak randu murni pada tegangan AC adalah 0,23, dan pada tegangan DC lebih banyak penurunannya yaitu 0,43. Angka ini didapatkan karena saat terjadi tembus, minyak menjadi rusak dan muncul *sludge* pada sampel minyak yang diukur, sehingga minyak menjadi semakin asam. Kemudian pada tegangan DC derajat pH jauh menurun dikarenakan untuk mencapai tembus diperlukan tegangan yang cukup besar daripada tegangan AC. Pada tegangan AC *breakdown* terjadi saat mencapai 13 – 15 kV, sedangkan pada tegangan DC memerlukan 28 – 30 kV untuk *breakdown*. Juga dilihat pada minyak randu yang mengalami tembus berkali-kali, derajat pHnya menurun, hal ini disebabkan semakin banyaknya kandungan minyak yang menjadi jenuh karena panas singkat yang terjadi saat tembus.

4.3.1.2 Pengaruh Medan Listrik Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Pada pengukuran angka kenetralan untuk medan listrik homogen, sama seperti pada pengukuran derajat pH, angka kenetralan juga tidak berkurang atau pun bertambah secara signifikan baik pada tegangan AC maupun pada tegangan DC. Berikut ditampilkan data pengukurannya:

Tabel 4. 9 Pengaruh Medan Listrik Homogen pada Angka Kenetralan Minyak Randu

Tingkat Tegangan AC (kV)		Angka Kenetralan			
		V (mL)	m (gr)	N	AN (mg KOH/gr)
3		15,70	5,1206	0,07765	13,3562
6		15,35	5,0050	0,07765	13,3601
9		16,00	5,1668	0,07765	13,4897
12		16,35	5,1306	0,07765	13,8821
13,56 (breakdown)	1x	16,70	5,1218	0,07765	14,2036
	2x	18,30	5,1670	0,07180	14,2679
	3x	18,35	5,1838	0,07180	14,2605
	4x	18,80	5,2881	0,07180	14,3221
	5x	18,60	5,2156	0,07180	14,3667
Tingkat Tegangan DC (kV)		Angka Kenetralan			
		V (mL)	m (gr)	N	AN (mg KOH/gr)
3		16,45	5,3101	0,07765	13,4948
6		16,15	5,1667	0,07765	13,6164
9		16,70	5,4317	0,07765	13,3932
12		16,25	5,2818	0,07765	13,4022
26,43 (breakdown)	1x	17,65	5,1538	0,07765	14,9184
	2x	19,55	5,2322	0,07180	15,0526
	3x	19,55	5,2318	0,07180	15,0537
	4x	19,10	5,1120	0,07180	15,0519
	5x	19,65	5,2414	0,07180	15,1030

Dari Tabel 4.9 diperoleh data pengukuran angka kenetralan yang menunjukkan bahwa angka kenetralan tidak terpengaruh oleh medan listrik homogen baik saat diterapkan tegangan AC maupun tegangan DC. Angka kenetralan yang bervariasi ini pun tidak lepas dari faktor lain seperti galat pada peralatan ukur, kesalahan pembacaan volume KOH pada saat titrasi, dan banyak faktor eksternal lainnya.

Berdasarkan Tabel 4.9 untuk parameter minyak mengalami *breakdown* juga memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan dari saat sebelum tembus. Pada tegangan AC angka kenetralan menjadi bertambah dari awalnya (lihat tabel 4.2) dengan selisih sebesar 0,7671 mg KOH/gr, sedangkan pada tegangan DC mendapat selisih yang lebih besar yaitu 1,4819 mg KOH/gr dikarenakan tegangan yang dibutuhkan untuk tembus pada tipe tegangan DC lebih besar daripada AC. Semakin besar tegangan tembusnya maka semakin besar pula kerusakan pada minyak akan terjadi, dalam hal ini adalah angka kenetralan yang semakin tinggi nilainya.

4.3.2 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Tingkat Keasaman Minyak Randu

Subbab ini akan menyajikan data pengukuran mengenai tingkat keasaman minyak randu sebagai isolasi apabila diterapkan medan non-homogen, yaitu memakai jenis elektroda jarum-piring. Penyajian data pengukuran akan dijelaskan disubbab berikut.

4.3.2.1 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu

Pada pengukuran derajat pH untuk medan listrik non-homogen, derajat pH tidak berkurang atau pun bertambah secara signifikan baik pada tegangan AC maupun pada tegangan DC. Berikut ditampilkan data pengukurannya:

Tabel 4. 10 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Derajat pH Minyak Randu

Tingkat Tegangan AC (kV)	Waktu (detik)	pH	Tingkat Tegangan DC (kV)	Waktu (detik)	pH
3	60	4,69	3	60	4,69
	300	4,66		300	4,66
	600	4,64		600	4,69
6	60	4,73	6	60	4,67
	300	4,74		300	4,68
	600	4,72		600	4,68
9	60	4,71	9	60	4,69
	300	4,68		300	4,71
	600	4,68		600	4,65
12	60	4,69	12	60	4,66
	300	4,72		300	4,67
	600	4,74		600	4,70
12,86 (breakdown)	1x	4,51	24,20 (breakdown)	1x	4,32
	2x	4,51		2x	4,32
	3x	4,51		3x	4,30
	4x	4,50		4x	4,30
	5x	4,50		5x	4,29

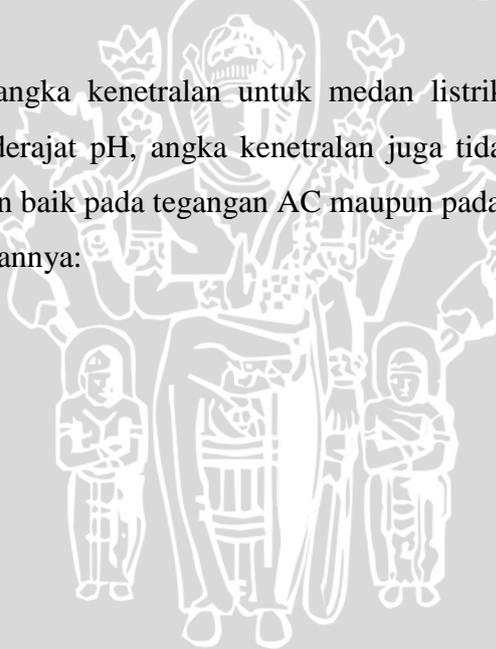
Pada Tabel 4.10, dapat diperhatikan sebelum mencapai *break*, derajat pH tiap sampel yang memenuhi parameter tidak berubah baik pada tegangan AC maupun tegangan DC. Maka dibuat kesimpulan bahwa medan listrik non-homogen tidak mempengaruhi derajat pH minyak randu sebelum terjadi tembus. Derajat pH yang bervariasi dapat disebabkan oleh banyak hal, antara lain galat pada pH meter, kondisi

minyak yang terkena udara saat pengambilan sampel, dan kesalahan pembacaan oleh peneliti.

Apabila diperhatikan lebih lanjut pada Tabel 4.10, khususnya derajat pH setelah minyak randu mengalami *break*, maka dapat dilihat angka yang cukup jauh dari derajat pH minyak randu murni. Pada tegangan tinggi AC, terdapat selisih derajat pH sebesar 0,14 lebih asam dari minyak randu murni, sedangkan pada tegangan tinggi DC ada selisih sebesar 0,33. *Break* pada tegangan tinggi DC dapat menyebabkan selisih asam yang lebih besar dikarenakan tegangan yang diperlukan untuk membuat tembus juga lebih besar daripada tegangan tinggi AC, tegangan tembus yang semakin besar akan membuat keadaan minyak randu juga semakin rusak, dalam hal ini munculnya *sludge* pada minyak randu setelah terjadi tembus.

4.3.2.2 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Pada pengukuran angka kenetralan untuk medan listrik non-homogen, sama seperti pada pengukuran derajat pH, angka kenetralan juga tidak berkurang atau pun bertambah secara signifikan baik pada tegangan AC maupun pada tegangan DC. Berikut ditampilkan data pengukurannya:



Tabel 4. 11 Pengaruh Medan Listrik Non-Homogen terhadap Angka Kenetralan Minyak Randu

Tingkat Tegangan AC (kV)		Angka Kenetralan			
		V (mL)	m (gr)	N	AN (mg KOH/gr)
3		23,50	5,5319	0,05650	13,4695
6		22,05	5,2112	0,05650	13,4117
9		21,50	5,0779	0,05650	13,4204
12		23,20	5,4506	0,05650	13,4913
12,86 (breakdown)	1x	23,10	5,2714	0,05650	13,8898
	2x	18,40	5,3248	0,07180	13,9207
	3x	17,75	5,1312	0,07180	13,9356
	4x	17,45	5,0266	0,07180	13,9852
	5x	18,35	5,2684	0,07180	14,0315
Tingkat Tegangan DC (kV)		Angka Kenetralan			
		V (mL)	m (gr)	N	AN (mg KOH/gr)
3		21,55	5,1216	0,05650	13,3368
6		21,90	5,1431	0,05650	13,4968
9		22,60	5,3251	0,05650	13,4522
12		21,90	5,1571	0,05650	13,4602
24,40 (breakdown)	1x	24,05	5,2588	0,05650	14,4957
	2x	19,30	5,1628	0,07180	14,4356
	3x	19,40	5,1718	0,07180	14,4884
	4x	19,55	5,2192	0,07180	14,4726
	5x	19,35	5,1405	0,07180	14,5374

Tabel 4.11 memperlihatkan bahwa selama belum terjadi tembus, tidak terjadi perubahan terhadap angka kenetralan pada minyak randu yang dipengaruhi medan listrik non-homogen. Perubahan angka kenetralan yang tidak terlalu berpengaruh ini dapat dikarenakan oleh berbagai faktor seperti kesalahan pembacaan volume KOH saat titrasi, galat pada neraca analitik, atau normalitas KOH yang dapat berubah setelah terkena udara terlalu lama.

Namun dapat dilihat lagi pada Tabel 4.11 secara spesifik pada kolom setelah terjadi *break*, terdapat kenaikan angka kenetralan yang cukup besar. Pada tegangan tinggi AC, kenaikan angka kenetralan adalah sebesar 0,45329 mg KOH/gr, sedangkan pada tegangan tinggi DC, kenaikan angka kenetralan menjadi lebih besar lagi, yaitu sebesar 1,05916 mg KOH/gr. Kenaikan yang tinggi pada tegangan tinggi DC ini juga disebabkan oleh tegangan yang diperlukan untuk tembus lebih besar dari tegangan tinggi AC.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa,

1. Medan listrik homogen dan non-homogen tidak mempengaruhi tingkat keasaman minyak randu. Tingkat keasaman minyak randu hanya berubah ketika terjadi tembus. Pada medan homogen dengan diterapkan tegangan AC, tegangan tembus sebesar 13,56 kV, derajat pH minyak randu yang awalnya 4,65 menurun menjadi 4,42, dan angka kenetralan yang awalnya 13,4366 mg KOH/gr naik menjadi 14,2036 mg KOH/gr.
2. Pemanasan mempengaruhi tingkat keasaman minyak randu menjadi lebih baik. Temperatur maksimum untuk pemanasan minyak randu adalah 70° C, lebih dari 70° C maka minyak randu akan mengalami kerusakan. Derajat pH minyak randu sebelum pemanasan adalah 4,65, setelah dipanaskan naik menjadi 6,43. Angka kenetralan minyak randu sebelum dipanaskan adalah 13,4366 mg KOH/gr, setelah dipanaskan menurun menjadi 10,3958 mg KOH/gr.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka untuk penyempurnaannya diberikan saran sebagai berikut,

1. Diperlukan penelitian mengenai parameter lain seperti kejernihan, viskositas, titik nyala, titik tuang, tegangan tembus, dan berbagai standar lain yang telah ditetapkan oleh PT. PLN agar dapat diketahui standar dari minyak randu apabila digunakan sebagai minyak transformator.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada peristiwa kimiawi yang terjadi pada minyak randu saat diberi kenaikan temperatur.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta Timur: Penerbit Ghalia Indonesia.
- Aritra Rajagukguk, B.M. 2009. *Penilaian Kondisi Isolasi Trafo Dengan Metode Pembobotan Analytic Hierarchy Proses (Studi Kasus IBT-1 & IBT-2 GITET Kembangan)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Fery Citarsa, Ida Bagus. 2011. *Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Sifat Lisfrik Dari Minyak Isolasi Transformator*. Jurnal Dielektrika, ISSN 2086-9487 Vol. 2, No.1: 41-48.
- Garniwa, I. & Fritz S., Jonathan. 2011. *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*. Jurnal Universitas Indonesia. 2011: Hal 6.
- Kemala, S. 2006. *Simulasi Usaha Tani Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Jurnal Litrii 12 (3): 87-97.
- Ketaren. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: Penerbit UI-Press.
- Kind, Dieter. 1993. *Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Terjemahan K.T. Sirait. Bandung : Penerbit ITB.
- Seniari, Ni Made. 2011. *Pengaruh Temperatur Dan Umur Pengoperasian Transformator Untuk Memprediksi Kandungan Asam Minyak Transformator*. Jurnal Universitas Mataram, Teknik Rekayasa. Vol. 12 No. 1: 42-52.
- SPLN 49-1. 1982. *Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak Isolasi*. Jakarta: LMK.
- Tobing L, Bonggas. 2012. *Dasar- Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- U.S. Department of the Inferior, Hydroelectric Research and Technical Services Group. 2005. *Transformers: Basics, Maintenance, and Diagnostics*. Denver, Colorado: Reclamation.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Rekapitulasi perhitungan angka kenetralan minyak randu akibat pengaruh medan homogen.

Tegangan Tinggi AC (kV)		Angka Keasaman				
		V _{KOH} (mL)	V _{Alkohol} (mL)	m (gr)	Normalitas KOH	NV (mg KOH/gr)
3		16,80	1,10	5,1206	0,07765	13,3562
6		16,45	1,10	5,0050	0,07765	13,3601
9		17,10	1,10	5,1668	0,07765	13,4897
12		17,45	1,10	5,1306	0,07765	13,8821
13,56 (<i>break-down</i>)	1x	17,80	1,10	5,1218	0,07765	14,2036
	2x	19,10	0,80	5,1670	0,07180	14,2679
	3x	19,15	0,80	5,1838	0,07180	14,2605
	4x	19,60	0,80	5,2881	0,07180	14,3221
	5x	19,40	0,80	5,2156	0,07180	14,3667
Tegangan Tinggi DC (kV)		Angka Keasaman				
		V _{KOH} (mL)	V _{Alkohol} (mL)	m (gr)	Normalitas KOH	NV (mg KOH/gr)
3		17,60	1,15	5,3101	0,07765	13,4948
6		17,30	1,15	5,1667	0,07765	13,6164
9		17,85	1,15	5,4317	0,07765	13,3932
12		17,40	1,15	5,2818	0,07765	13,4022
26,43 (<i>break-down</i>)	1x	18,80	1,15	5,1538	0,07765	14,9184
	2x	20,35	0,80	5,2322	0,07180	15,0526
	3x	20,35	0,80	5,2318	0,07180	15,0537
	4x	19,90	0,80	5,1120	0,07180	15,0519
	5x	20,45	0,80	5,2414	0,07180	15,1030

Lampiran 2 Rekapitulasi perhitungan angka kenetralan minyak randu akibat pengaruh medan non-homogen.

Tegangan Tinggi AC (kV)		Angka Keasaman				
		V_{KOH} (mL)	V_{Alkohol} (mL)	m (gr)	Normalitas KOH	NV (mg KOH/gr)
3		23,80	0,30	5,5319	0,05650	13,4649
6		22,35	0,30	5,2112	0,05650	13,4117
9		21,80	0,30	5,0779	0,05650	13,4204
12		23,50	0,30	5,4506	0,05650	13,4913
12,86 (<i>break-down</i>)	1x	23,40	0,30	5,2714	0,05650	13,8898
	2x	19,20	0,80	5,3248	0,07180	13,9207
	3x	18,55	0,80	5,1312	0,07180	13,9356
	4x	18,25	0,80	5,0266	0,07180	13,9852
	5x	19,15	0,80	5,2684	0,07180	14,0315
Tegangan Tinggi DC (kV)		Angka Keasaman				
		V_{KOH} (mL)	V_{Alkohol} (mL)	m (gr)	Normalitas KOH	NV (mg KOH/gr)
3		21,85	0,30	5,1216	0,05650	13,3368
6		22,20	0,30	5,1431	0,05650	13,4968
9		22,90	0,30	5,3251	0,05650	13,4522
12		22,20	0,30	5,1571	0,05650	13,4602
24,20 (<i>break-down</i>)	1x	24,35	0,30	5,2588	0,05650	14,4957
	2x	19,30	0,80	5,1628	0,07180	14,4356
	3x	19,40	0,80	5,1718	0,07180	14,4884
	4x	19,55	0,80	5,2192	0,07180	14,4726
	5x	19,35	0,80	5,1405	0,07180	14,5374



Lampiran 3 Dokumentasi pengukuran derajat pH menggunakan pH meter.



Lampiran 4 Dokumentasi pengukuran angka kenetralan menggunakan metode titrasi.

