

Analisa Karakteristik Dielektrik dan Kimia Minyak *Gas To Liquid* (GTL) Sebagai Media Isolasi Transformator

Saepul Rahmat^{1*}, Radhi Ariawan²

¹Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Cilacap

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: saepulrahmat@pnc.ac.id¹, radhi.ariawan@pnc.ac.id²

Info Naskah:

Naskah masuk: 9 September 2021

Direvisi: 9 Januari 2022

Diterima: 15 Januari 2022

Abstrak

Minyak transformator Gas to Liquid dengan penyusun utama iso-paraffinic merupakan alternatif media isolasi dengan kandungan zat pengotor yang lebih sedikit, sehingga kekuatan isolasinya semakin bertambah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan perubahan karakteristik dielektrik minyak transformator terhadap perubahan karakteristik kimia minyak Gas to Liquid. Objek penelitian minyak gas to liquid diberikan perlakuan seperti kondisi aktual transformator pada temperatur 100C, kemudian dilakukan penuaan thermal dengan temperatur 120C dan 150C mulai dari 362 jam sampai 1008 jam. nilai rugi rugi dielektrik minyak transformator masih memenuhi nilai standar yang digunakan yaitu ASTM D924 sebesar 0,0015%, namun nilai resistivitasnya tidak sesuai dengan standar yang ditentukan IEC 60442 yaitu sebesar 60 GΩm. Nilai Karakteristik kimia seperti kadar air mengalami berada diatas standar ASTM D1533 sebesar 35 mg/kg. Nilai kadar asam minyak berada diatas standar ASTM D974 sebesar 0,20 mg KOH/g, dan Nilai skala warna melebihi batas yang telah ditentukan ASTM D1500 sebesar 0,5.

Keywords:

gas to liquid;
dielectric characteristic;
chemical characteristic;
transformator isolation

Abstract

Gas to Liquid transformer oil with iso-paraffinic as the main constituent is an alternative insulating medium with fewer impurities, therefore its insulating strength is increasing. This study aims to determine the relationship of changes in the dielectric characteristics of transformer oil to changes in the chemical characteristics of gas to liquid oil. The object of research for gas to liquid oil is treated as the actual condition of the transformer at a temperature of 1000C, then thermal aging was carried out with temperatures of 1200C and 1500C starting from 362 hours to 1008 hours. the dielectric loss value of transformer oil still met the standard value used, namely ASTM D924 of 0.0015%, but the resistivity value was not in accordance with the standard specified by IEC 60442 which was 60 GΩm. The value of chemical characteristics such as water content is above the ASTM D1533 standard of 35 mg/kg, the value of the acid content of the oil is above the ASTM D974 standard of 0.20 mg KOH/g, and the color scale value exceeds the predetermined limit of ASTM D1500 by 0, 5.

*Penulis korespondensi:

Saepul Rahmat

E-mail: saepulrahmat@pnc.ac.id

2.1 Pendahuluan

Minyak umum yang digunakan pada transformator adalah minyak mineral yang berasal dari fosil. Jenis cairan lain yang digunakan adalah minyak silikon dan minyak ester. Dalam perkembangannya, minyak ester sudah digunakan pada isolasi transformator terutama untuk transformator distribusi yang mulai tersedia secara komersial pada akhir 1990-an [1]. Didalam minyak mineral akan terdapat molekul polar dengan kuantitas yang rendah seperti asam dan keton. Senyawa ini kemudian dihilangkan dalam proses manufaktur, akan tetapi kehadiran senyawa ini akan bertambah seiring dengan penggunaannya untuk insulasi. Parameter ini secara konstan dipantau selama operasi dengan oli mineral, karena keberadaan struktur polaritas secara langsung mempengaruhi kinerja oli mineral sebagai isolasi, seperti kadar air dan kehilangan kekuatan dielektrik.

Banyak studi yang telah dilakukan untuk menguji keandalan minyak transformator sebagai pendingin. Studi oleh [2] menjelaskan hasil pengujian minyak mineral dan sintetis untuk isolasi transformator di bawah penuaan panas, sedangkan studi [3] menguji kualitas minyak mineral menggunakan dua buah parameter yaitu uji kekuatan tarik dan uji furan. Kedua studi diatas memiliki kelebihan karena fokus terhadap satu karakteristik pengujian, baik itu pengujian dielektrik maupun pengujian kekuatan tarik isolasi pada minyak transformator. Namun studi ini juga memiliki kelemahan karena hanya menilai kondisi transformator berdasarkan satu parameter saja. Transformator memiliki beberapa komponen elektrik dan mekanik yang membutuhkan pengujian sesuai dengan standar yang berlaku dan tentu saja penilaian atas performa suatu transformator tidak bisa dilakukan menggunakan hasil pengujian satu jenis parameter saja.

Studi lain yang menguji kualitas isolasi minyak transformator adalah [4][5], tetapi dengan menggunakan tiga buah parameter minyak transformator yang digunakan, yaitu minyak transformator jenis mineral, silikon, dan ester. Pengujian ini menitikberatkan pada pengujian kekuatan dielektrik berbagai jenis minyak isolasi transformator sesuai dengan standar IEC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dielektrik minyak isolasi jenis mineral memiliki kekuatan dielektrik paling tinggi dibanding minyak jenis lain. Minyak ester yang merupakan minyak isolasi alternatif pada transformator memiliki kekuatan dielektrik diatas standar yang ditentukan, tetapi nilai rugi rugi dielektrik minyak ester naik setelah proses penuaan thermal. Penelitian memiliki kelebihan karena menggunakan objek penelitian lebih dari satu objek, tetapi kekurangannya adalah belum mengungkapkan pengaruh perubahan molekul kimia yang terjadi pada semua isolasi transformator yang diuji terhadap perubahan karakteristik dielektrik.

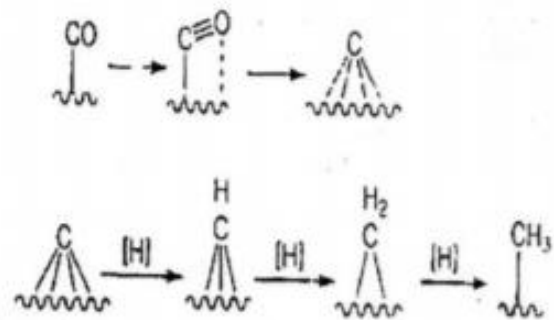
Belum banyak penelitian yang membahas tentang sifat dielektrik dan kimia minyak transformator jenis *gas to liquid*. Perbedaan penelitian antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan adalah penggunaan jenis minyak isolasi *gas to liquid* dan penggunaan dua parameter yaitu karakteristik kimia dan karakteristik dielektrik transformator. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan sifat dielektrik minyak transformator terhadap perubahan molekul dan sifat kimia yang terjadi

pada minyak isolasi transformator. Pengujian kekuatan dielektrik minyak isolasi tidak hanya membandingkan nilai resistivitas, tetapi juga parameter terkait lainnya seperti kehilangan kekuatan dielektrik. Pengujian ini juga membandingkan kekuatan dielektrik terhadap perubahan karakteristik kimia seperti angka keasaman, kadar air, dan skala warna untuk mengetahui perubahan molekul kimia penyusun minyak *gas to liquid*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemanfaatan jenis minyak isolasi transformator baru yaitu minyak *gas to liquid* yang telah diuji dengan menggunakan dua parameter berbeda (karakteristik dielektrik dan karakteristik kimia) sehingga performa transformator sebagai komponen penting dalam pendistribusian energi listrik tetap dapat diandalkan.

2.2 Metode Penelitian

2.1 Minyak Gas to Liquid

Minyak berbasis hidrokarbon tersedia dari sumber gas alam (metana) menggunakan teknologi gas-to-liquid. Selama produksi, pertama-tama metana bereaksi dengan oksigen untuk membentuk campuran karbon monoksida dan hidrogen. Campuran ini kemudian diubah menjadi hidrokarbon lilin cair dengan reaksi Fischer-Tropsch. Reaksi Fischer-Tropsch adalah konversi campuran karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen (H₂) dengan melewatkannya melalui katalis logam transisi yang dihasilkan pada suhu di atas 473°K dan tekanan di atas 1 atmosfer[6]. Pada akhirnya, rantai hidrokarbon yang panjang ini dipecah menjadi ikatan bercabang yang lebih pendek melalui proses perengkahan air. Minyak hidrokarbon, seperti minyak gas-ke-cair, yang komponen utamanya adalah isoparafin, memiliki lebih sedikit pengotor dan pengotor daripada minyak mineral dan dikatakan berkinerja lebih baik daripada minyak mineral [7].



Gambar 1. Reaksi Fischer Tropsch [8].

Minyak Shell Diala ZX4I terbuat dari minyak bebas belerang, sehingga pada dasarnya tidak menimbulkan korosi tembaga tanpa penambahan pasif atau aditif lainnya. Minyak Shell Diala ZX4I juga berasal dari gas alam murni yang digunakan untuk menghasilkan struktur kimia hidrokarbon yang ditentukan secara ketat dan dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada sumber dan proses pemurnian. Ini menyediakan struktur kimia yang memberikan kinerja yang andal.

2.2 Sampel Penelitian

Sampel untuk penelitian ini adalah minyak mineral dan *gas to liquid* (GTL). Minyak mineral yang digunakan adalah Nynas Nitro dan minyak *gas to liquid* yang digunakan adalah Shell Diala ZX4I. Menurut produsen minyak masing-masing, minyak Nynas Nitro dan Minyak Shell Diala ZX4I adalah minyak yang tersedia secara komersial.



Gambar 2. Sampel Minyak Gas To Liquid

Untuk mensimulasikan kondisi transformator yang sebenarnya, 800 ml minyak *gas to liquid* dan 6 gram sampel kertas insulasi kraft ditempatkan dalam botol tahan panas. Disiapkan di bawah kondisi awal yang sama dengan memanaskan sampel pada 100 °C selama 24 jam, kemudian menambahkan 4 lembar kertas isolasi kraft ke semua sampel dan panaskan dalam oven listrik, dari 336 jam menjadi 1008 mengalami kondisi penuaan panas yang dipercepat. Untuk membuat dua jenis temperatur pemanasan berbeda yaitu suhu 120 °C dan 150 °C, sampel ditempatkan di dua oven yang berbeda. Tingkat suhu pada 150 °C didasarkan pada studi oleh Mc Shane [9], sedangkan suhu 120 °C adalah hotspot maksimum menurut IEEE Std. C571041991. Kondisi perlakuan sampel ditunjukkan melalui Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Perlakuan Penuaan

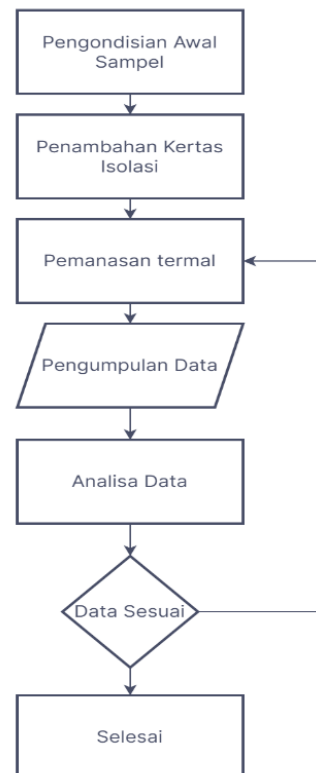
Sampel	Perlakuan Penuaan
E. T0	Keadaan awal
E. T1. 120	Temperatur 120°C selama 336 jam
E. T1. 150	Temperatur 150°C selama 336 jam
E. T2. 120	Temperatur 120°C selama 672 jam
E. T2. 150	Temperatur 150°C selama 672 jam
E. T3. 120	Temperatur 120°C selama 1008 jam
E. T3. 150	Temperatur 150°C selama 1008 jam

Sampel penelitian minyak *gas to liquid* dimasukkan kedalam botol vial dengan volume sekitar 20 ml. sampel tersebut kemudian ditutup karet dan disegel dengan aluminium untuk mencegah adanya kontaminasi bahan lain yang dapat mengganggu sampel. Sampel ditempatkan pada suatu kontainer yang dapat menampung 40 vial sampel. Vial

berisi sampel kemudian diputar otomatis oleh suatu alat untuk mengekstraksi gas yang terperangkap dalam minyak. Gas gas mudah terbakar akan terakumulasi dibagian atas vial dan dipisahkan oleh jarum untuk dideteksi apakah terdapat jenis gas mudah terbakar, kemudian data pengujian akan disajikan dalam suatu grafik hasil pengujian.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Gambar 3 merupakan diagram alur penelitian yang dilakukan. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah eksperimen, yaitu mengumpulkan data dengan cara menguji atau mengukur objek yang diuji, kemudian mencatat data data hasil pengukuran untuk dianalisa. Parameter yang diuji pada karakteristik dielektrik antara lain pengukuran tegangan tembus atau *breakdown voltage*, rugi-rugi dielektrik dan resistivitas jenis. Sedangkan karakteristik kimia yang dilakukan antara lain pengujian kadar air, pengujian angka keasaman, dan skala warna minyak transformator. Data yang sudah didapatkan kemudian dianalisa apakah sudah sesuai dengan standar pengujian yang digunakan yaitu IEC dan ASTM.



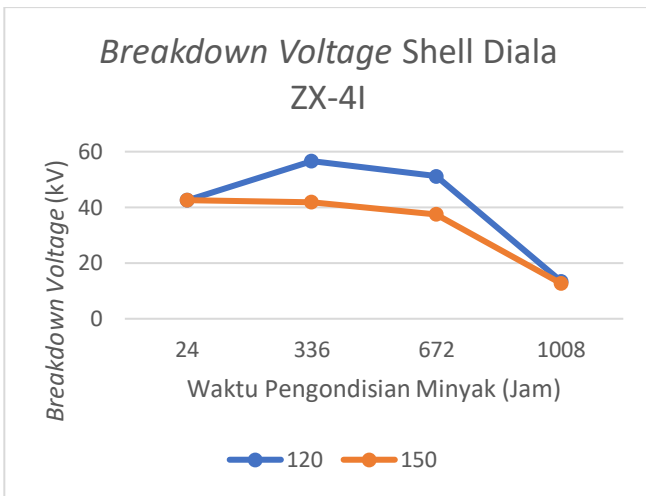
Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

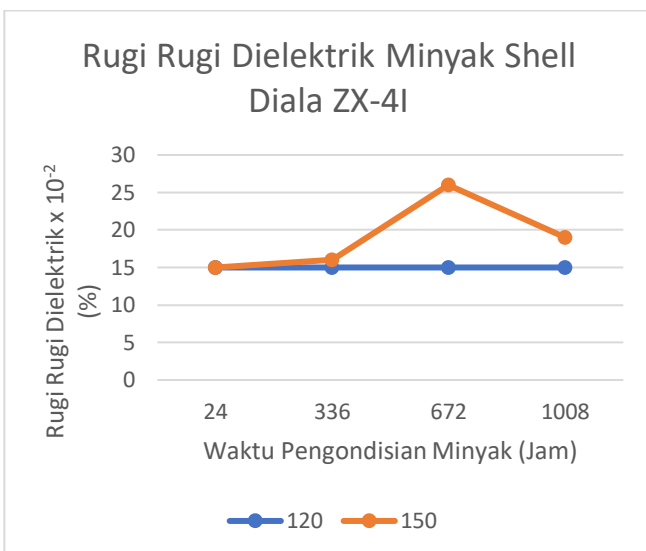
3.1 Karakteristik Dielektrik

Sifat dielektrik yang diukur meliputi pengukuran tegangan tembus atau tegangan tembus, rugi-rugi dielektrik, dan hambatan. Pengukuran tegangan tembus dilakukan di Lab Mesin Listrik Politeknik Negeri Cilacap menggunakan alat uji tegangan tembus Huazheng dengan kenaikan tegangan 1,5 kV/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keberadaan partikel padat mengurangi nilai tegangan tembus (Gambar 4). Partikel padat yang dihasilkan oleh proses

penuaan bersifat konduktif. Partikel padat ini sedikit terpolarisasi ke arah medan listrik antara dua elektroda, sehingga menghubungkan kedua elektroda dengan partikel padat dan memicu *streamer* [10].



Gambar 4. Hasil pengujian *breakdown voltage* minyak *Gas to Liquid*



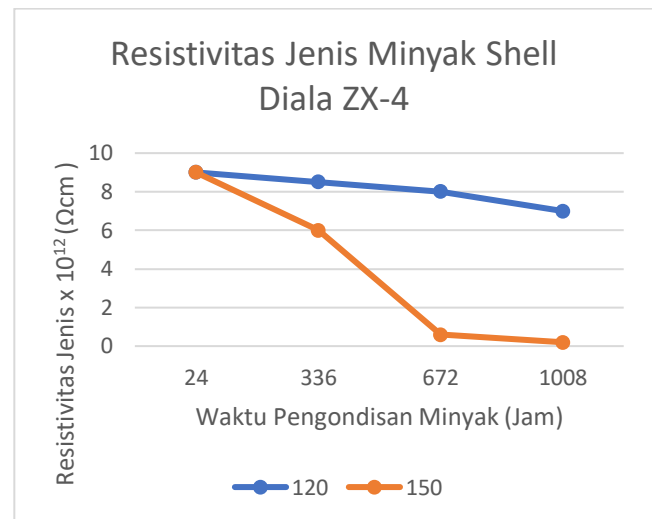
Gambar 5. Hasil pengujian rugi rugi dielektrik minyak *Gas to Liquid*

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan tembus pada isolasi minyak *gas to liquid*. Tegangan tembus setelah pemanasan 336 jam suhu 120 C berada di nilai 56,6 kV secara perlahan mengalami penurunan menjadi 51,17 kV dan 12,7 kV pada pemanasan 1008 jam. Begitupun pula tegangan tembus setelah pemanasan 336 jam suhu 150 C mengalami penurunan dari 41,9 kV menuju 37,5 kV, dan 12,7 kV pada pemanasan 1008 jam. Tegangan tembus tersebut terjadi akibat adanya kontaminan seperti air dan gas mudah terbakar lain ke dalam minyak yang menyebabkan kekuatan tegangan tembus minyak berkurang.

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa proses penuaan yang dilakukan pada semua sampel menyebabkan terjadinya

perubahan pada faktor rugi-rugi dielektrik masing-masing sampel. Setelah dilakukan proses penuaan maka nilai faktor rugi-rugi dielektrik sampel minyak dengan pemanasan 150°C menjadi lebih tinggi. Nilai rugi rugi dielektrik pada pemanasan temperatur 120°C berada di kisaran 0,0015%, namun pada pemanasan temperatur 150 °C terjadi kenaikan menjadi 0,0016% selama 336 jam, kemudian mengalami kenaikan kembali menjadi 0,0026% selama pemanasan 672 jam. Kemudian sampel minyak mengalami penurunan nilai rugi rugi dielektrik kembali ke 0,0019% setelah mengalami pemanasan 1008 jam. Adanya kenaikan dan penurunan nilai rugi rugi dielektrik ini masih tetap memenuhi standar yang digunakan yaitu ASTM D924 sebesar 0,0015%.

Faktor kerugian dielektrik diuji menggunakan tan delta meter dan indikator nol berdasarkan prinsip jembatan Schering. Faktor rugi-rugi dielektrik ini menunjukkan adanya rugi-rugi pada dielektrik saat beroperasi pada tegangan AC [11].



Gambar 6. Hasil pengujian resistivitas minyak *Gas to Liquid*

Pengujian resistivitas jenis dilakukan dengan menggunakan alat *High Resistance Meter*. Tegangan yang digunakan ketika pengujian adalah 1000 V dan nilai resistivitas menunjukkan kekuatan suatu bahan untuk tidak dilalui arus listrik. Pada isolasi, semakin besar nilai resistivitas maka akan semakin baik kemampuan bahan tersebut sebagai isolasi. Selain itu, nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas suatu bahan [14]. Semakin tinggi tangean rugi-rugi dielektrik suatu isolator, semakin tinggi pula konduktivitasnya. Oleh karena itu, dalam kasus isolator yang rugi-rugi dielektriknya meningkat seiring dengan waktu penuaan, resistivitasnya menurun selama proses penuaan.

Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai resistivitas jenis minyak *gas to liquid* setelah diberi perlakuan penuaan thermal baik pada pemanasan 120°C maupun 150°C. nilai resistivitas jenis minyak *gas to liquid* dengan pemanasan thermal 120°C mengalami penurunan secara berurutan mulai dari 9, 8,5, 8, dan 7 GΩm selama waktu pemanasan dari 24 jam sampai 1008 jam. Begitupun pula dengan nilai resistivitas jenis minyak *gas to liquid* dengan pemanasan thermal 150°C yang mengalami

penurunan mulai dari 9, 6, 0,6, sampai 0.2 GΩm selama waktu pemanasan dari 24 jam sampai 1008 jam.

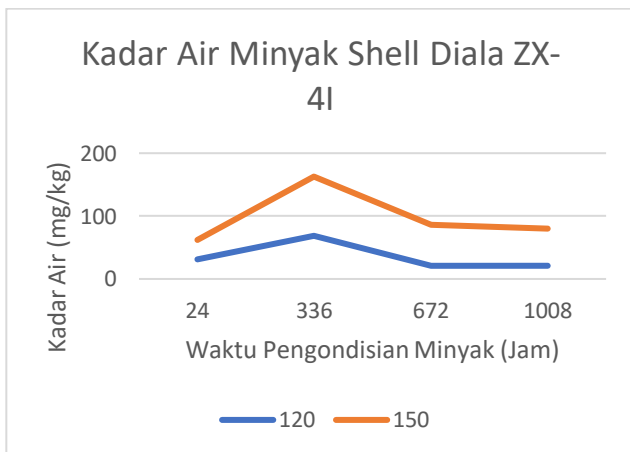
Penurunan nilai resistivitas tersebut menyebabkan resistivitas jenis minyak *gas to liquid* tidak sesuai dengan standar yang ditentukan IEC 60442 yaitu sebesar 60 GΩm. Kehilangan isolasi umumnya disebabkan oleh penyebab berikut [12]:

- a) Hilangnya polarisasi karena perubahan orientasi muatan isolator.
- b) Hilangnya ionisasi karena pelepasan yang memakan energi.
- c) Hilangnya dipol dihasilkan dari gesekan dan hambatan dipol ketika material terkena medan listrik [13].

Minyak transformator yang dipanaskan hingga 150 °C lebih polar daripada minyak pada 120 °C karena struktur atomnya yang tidak seimbang dan asimetris [14]. Dengan demikian gesekan yang lebih sering terjadi dan akibatnya rugirugi dielektrik minyak transformator 150°C lebih tinggi dibandingkan dengan minyak pemanasan 120°C

3.2 Karakteristik Kimia

Parameter kimia yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, nilai asam minyak transformator dan pengujian skala warna. Uji kadar air dilakukan dengan metode Karl Fischer. Sebelum digunakan, beroperasi tanpa sampel (dikalibrasi) hingga nilai terukur mencapai 0 ppm. Dari diagram hubungan antara kadar air dan waktu penuaan (foto menunjukkan bahwa gas berperilaku tidak normal terhadap minyak cair. Setelah 336 jam waktu penuaan, kadar air kertas meningkat. Ini adalah Mc Shane dkk. [15].



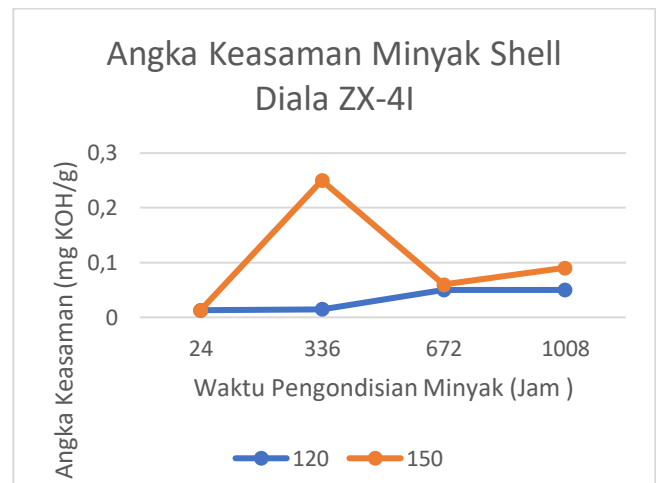
Gambar 7. Hasil pengujian kadar air minyak *Gas to Liquid*

Dari grafik Gambar 7 terlihat bahwa kadar air dalam minyak *gas to liquid* sehabis proses penuaan selama 336 jam pada temperatur 150°C lebih tinggi dibandingkan menggunakan temperatur penuaan 120°C. Dari gambar 6 hubungan kadar air dan durasi penuaan menunjukkan bahwa minyak *gas to liquid* proses penuaan selama 336 jam di temperatur 150°C menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur penuaan 120°C. Setelah durasi penuaan selama 336 jam jumlah kadar air pada kertas bertambah dari 31.01 mg/kg menjadi 68.61 mg/kg pada temperatur 120C dan kadar air 58.67 mg/kg menjadi 94.15 mg/kg pada

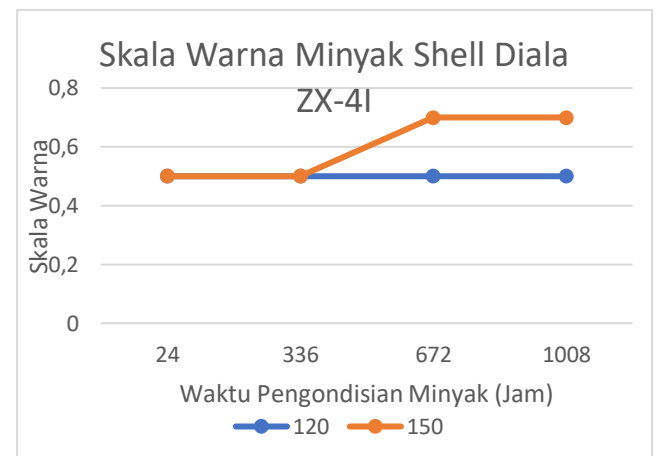
temperature 150°C. Hal ini ditimbulkan dalam temperatur 150°C, air yg berpindah menurut kertas isolasi lebih banyak.

Setelah penuaan selama 672 jam maka terjadi reaksi antara air & trigleserida sebagai akibatnya kadar air semakin menurun dalam temperatur yg lebih tinggi. Setelah proses penuaan selama 1008 jam reaksi pirolisis dalam kertas yg membentuk air lebih lebih banyak didominasi terjadi menurut dalam reaksi dalam minyak sebagai akibatnya dalam temperatur 150°C kadar air lebih tinggi.

Pengujian angka keasaman dilakukan menggunakan caratitrasi memakai tabung Erlenmeyer. Angka asam dinyatakan menjadi mg KOH yg diharapkan buat menetralkan senyawa asam pada 1 gr sampel minyak



Gambar 8. Hasil pengujian angka keasaman minyak *Gas to Liquid*



Gambar 9. Hasil pengujian Skala warna minyak *Gas to Liquid*

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 8, Nilai angka keasaman minyak pada temperatur 120C mengalami kenaikan dari 0.013 mg KOH/g menjadi 0.015 mg KOH/g, sedangkan kenaikan angka keasaman signifikan terjadi pada pemanasan 150C yang awalnya 0.013 mg KOH/g menjadi 0.25 mg KOH/g. Semakin lama durasi yang diberikan pada sampel, maka kandungan asam dalam sampel minyak akan semakin bertambah. Kandungan asam dihasilkan oleh proses oksidasi selama proses pemanasan minyak transformator di dalam tabung transformator [16]. Semakin lama durasi yang diberikan pada sampel, maka kandungan asam dalam sampel

minyak akan semakin bertambah. Temperatur pemanasan juga berhubungan dengan kenaikan skala warna minyak, bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan berbanding lurus dengan kenaikan skala warna minyak transformator.

Berdasarkan gambar 9, nilai skala warna minyak dengan temperatur pemanasan 120°C tidak mengalami kenaikan dan tetap berada pada nilai 0.5, sedangkan nilai skala warna pemanasan 150°C mengalami kenaikan pada pemanasan selama 672 jam dan 1008 jam menjadi 0.7. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi berlangsung lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi, sehingga perubahan warna pada minyak *Gas to Liquid* berbanding lurus dengan temperatur pemanasan. Nilai skala warna mengalami kenaikan setelah proses penuaan dan melebihi batas yang telah ditentukan ASTM D1500 sebesar 0,5.

Pengujian skala warna dilakukan dengan menggunakan Livobond PFX 195 Tintometer seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Prosedur pengujian ini didasarkan pada standar ASTM D1500. Berdasarkan gambar 7, nilai skala warna minyak dengan temperature pemanasan 150 °C lebih tinggi daripada temperatur pemanasan 120 °C. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi berlangsung lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi, sehingga perubahan warna pada minyak *Gas to Liquid* berbanding lurus dengan temperatur pemanasan.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan nilai rugi rugi dielektrik menyebabkan penurunan resistivitas jenis. adanya nilai rugi rugi dielektrik pada pemanasan temperatur 120°C berada di kisaran 0,0015%, namun pada pemanasan temperatur 150°C terjadi kenaikan menjadi 0,0016% selama 336 jam, kemudian mengalami kenaikan kembali menjadi 0,0026% selama pemanasan 672 jam. Minyak *gas to liquid* mengalami penurunan nilai resistivitas jenis dengan pemanasan thermal 120°C mengalami penurunan secara berurutan mulai dari 9, 8.5, 8, dan 7 G Ω m selama waktu pemanasan dari 24 jam sampai 1008 jam. Begitupun pula dengan nilai resistivitas jenis minyak *gas to liquid* dengan pemanasan termal 150°C yang mengalami penurunan mulai dari 9, 6, 0.6, sampai 0.2 G Ω m selama waktu pemanasan dari 24 jam sampai 1008 jam.

Selain penurunan karakteristik dielektrik, terjadi juga penurunan karakteristik kimia. Setelah durasi penuaan selama 336 jam, jumlah kadar air pada kertas pada temperatur 120°C bertambah dari 31.01 mg/kg menjadi 68.61 mg/kg dan pada temperatur 150°C kadar air 58.67 mg/kg menjadi 94.15 mg/kg. kenaikan angka keasaman signifikan terjadi pada pemanasan 150C yang awalnya 0.013 mg KOH/g menjadi 0.25 mg KOH/g. selain itu, nilai skala warna minyak dengan temperatur pemanasan 120 °C tidak mengalami kenaikan dan tetap berada pada nilai 0.5, sedangkan nilai skala warna pemanasan 150°C mengalami kenaikan pada pemanasan selama 672 jam dan 1008 jam menjadi 0.7.

Kekuatan tegangan tembus pada awalnya naik karena proses transesterifikasi, kemudian menurun seiring lamanya durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Rugi-rugi dielektrik pada awalnya turun karena proses transesterifikasi, kemudian meningkat seiring lamanya

durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Resistivitas jenis menurun seiring lamanya durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Kadar air awalnya naik karena proses transesterifikasi, kemudian menurun seiring lamanya durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Keasaman meningkat seiring lamanya durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Skala warna meningkat seiring lamanya durasi dan kenaikan temperatur penuaan. Untuk hasil penilaian yang lebih baik, disarankan agar pengujian selanjutnya ditambahkan parameter pengujian *dissolved gas analysis* dan pengujian derajat polimerisasi kertas isolasi sehingga dapat diketahui apakah terdapat penurunan kekuatan kertas isolasi minyak transformator yang dapat menyebabkan isolasi di sekitar inti transformator menjadi rusak.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Cilacap karena telah membantu memfasilitasi kegiatan penelitian ini sesuai dengan no kontrak 025/PL43/PT.01.03/2021 Program Penelitian Stimulus Dosen Dana DIPA Tahun Anggaran 2021.

Daftar Pustaka

- [1] Suwarno, M. Ilyas, dan Rubadi, "Effects of temperature on dielectric properties of rhicinnus oils as insulating liquid," 2008, doi: 10.1109/CMD.2008.4580283
- [2] A. Rajab, A. Sulaeman, S. Sudirham, and Suwarno, "A comparison of dielectric properties of palm oil with mineral and synthetic types insulating liquid under temperature variation," *ITB J. Eng. Sci.*, vol. 43 B, no. 3, pp. 191–208, 2011, doi: 10.5614/itbj.eng.sci.2011.43.3.3.
- [3] R. A. Prasajo, A. Setiawan, Suwarno, N. U. Maulidevi, and B. A. Soedjarno, "Development of Power Transformer Remaining Life Model Using Multi-Parameters," *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, vol. 2021-July, no. Icpadm, pp. 99–102, 2021, doi: 10.1109/ICPADM49635.2021.9493928
- [4] Y. Saputra, M. Kim, S. Suwarno, Y. Jeon, and Y. Byeon, "The Effect of Thermal Aging on Dielectric Properties and Tracking Erosion Test of Micro Bn Composites," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, pp. 2–6, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011099.
- [5] A. D. Sorimuda Ritonga, Y. Erina Sari, and Suwarno, "Comparative Study of Liquid Insulating Materials for High Voltage Transformer," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011143
- [6] S. Rahmat, S. Suwamo, dan S. Aminuddin, "Effects of thermal ageing on the dielectric properties and dissolved gas analysis in ester from palm oil and Kraft composite paper insulation," in *3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2016*, Apr 2017, hal. 209–213, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904873.
- [7] J. Wang *et al.*, "Study on water absorption behaviour of a new type of gas-to-liquid transformer oil," *ICHVE 2016 - 2016 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, hal. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ICHVE.2016.7800877.
- [8] Suwarno dan F. Salim, "Effects of electric arc on the dielectric properties of liquid dielectrics," *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, no. tan 6, hal. 482–485, 2006, doi: 10.1109/ICPADM.2006.284220.

- [9] C.P. McShane, J. L. Corkran, K. J. Rapp, dan J. Luksich, "Aging of paper insulation retrofilled with natural ester dielectric fluid," 2003, doi: 10.1109/ceidp.2003.1254810.
- [10] J. Wang *et al.*, "Study on water absorption behaviour of a new type of gas-to-liquid transformer oil," *ICHVE 2016 - 2016 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, hal. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ICHVE.2016.7800877.
- [11] Suwarno & F. Salim, "Effects of electric arc on the dielectric properties of liquid dielectrics," *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, no. tan 6, hal. 482–485, 2006, doi: 10.1109/ICPADM.2006.284220.
- [12] T. Münster, O. Gratz, E. Gockenbach, P. Werle, J. Friedel, dan A. Hilker, "Investigation on the impregnation characteristics of a new GTL based synthetic insulating fluid," *2017 IEEE 19th Int. Conf. Dielectr. Liq. ICDL 2017*, vol. 2017-January, no. Icdl, hal. 1–4, 2017, doi: 10.1109/ICDL.2017.8124710.
- [13] "Preparation And Characterization Of Sulfated Zirconia For Biodiesel Production," *Reaktor*, 2012, doi: 10.14710/reaktor.13.4.225-230.
- [14] W. Lu, Z. D. Wang, dan Q. Liu, "Pre-breakdown and breakdown mechanisms of an inhibited gas to liquid hydrocarbon transformer oil under negative lightning impulse voltage," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 5, hal. 2809–2818, 2017, doi: 10.1109/TDEL.2017.006416.
- [15] A. Rajab, A. Sulaeman, S. Sudirham, dan Suwarno, "A comparison of dielectric properties of palm oil with mineral and synthetic types insulating liquid under temperature variation," *ITB J. Eng. Sci.*, vol. 43 B, no. 3, hal. 191–208, 2011, doi: 10.5614/itbj.eng.sci.2011.43.3.3.
- [16] C. Patrick McShane, J. Corkran, K. Rapp, dan J. Luksich, "Natural ester dielectric fluid development," 2006, doi: 10.1109/TDC.2006.1668445.