



PENGARUH PENUAAN THERMAL TERHADAP PENURUNAN PERFORMA DIELEKTRIK DAN KIMIA MINYAK GAS TO LIQUID (GTL) SAEPUL RAHMAT, RADHI ARIAWAN

Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Cilacap
Email : saepulrahmat@pnc.ac.id

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 100°C, kemudian dilakukan penuaan thermal dengan temperatur 120°C dan 150°C 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 di atas standar ASTM D1533 sebesar 35 mg/kg, Nilai kadar asam minyak berada di atas standar ASTM D974 sebesar 0,20 mg KOH/g, dan Nilai skala warna melebihi batas yang telah ditentukan ASTM D1500 sebesar 0,5.

Kata kunci: Minyak Gas to Liquid, Penuaan Thermal, Karakteristik Dielektrik, Karakteristik Kimia

ABSTRACT

Gas to Liquid transformer oil with iso-paraffinic as the main constituent is an alternative insulating medium with fewer impurities, so that 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 the research on gas to liquid oil is treated as the actual condition of the transformer at a temperature of 100°C, then thermal aging is carried out at a temperature of 120°C and 150°C starting from 362 hours to 1008 hours. the dielectric loss value of transformer oil still meets the standard value used, namely ASTM D924 of 0.0015%, but the resistivity value is not in accordance with the standard specified by IEC 60442 which is 60 GΩm. The value of chemical characteristics such as water content was above the ASTM D1533 standard of 35 mg/kg, the acidity value of the oil was above the ASTM D974 standard of 0.20 mg KOH/g, and the color scale value exceeded the predetermined limit of ASTM D1500 by 0, 5.

Keywords: Gas to Liquid Oil, Thermal Ageing, Dielectric Characteristic, Chemical Characteristic

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 mineral sudah digunakan pada isolasi Transformator terutama untuk Transformator distribusi yang mulai tersedia secara komersial pada akhir 1990-an. Didalam minyak mineral akan terdapat molekul polar dengan kuantitas yang rendah seperti asam dan keton. Senyawa ini kemudian dihilangkan dalam proses manufaktur, akan tetap kehadiran senyawa ini akan bertambah seiring dengan penggunaannya untuk insulasi (**Rahmat et al., 2017**). Kehadiran struktur polar memiliki pengaruh yang langsung terhadap kinerja minyak mineral sebagai insulasi seperti kadar air, rugi rugi dielektrik sehingga parameter tersebut selalu dimonitor selama pengoperasian dengan menggunakan minyak mineral (**Wang et al., 2016**). Minyak transformator Gas to Liquid dengan penyusun utama iso-paraffinic merupakan alternatif sebagai media isolasi yang dianggap lebih handal karena memiliki kandungan zat pengotor yang lebih sedikit, sehingga kekuatan isolasinya semakin bertambah. Penggunaan minyak gas to liquid sebagai media isolasi transformator harus memenuhi persyaratan kekuatan dielektrik dan kimia untuk menjamin keandalan media isolasi tersebut dapat bekerja dengan baik selama proses pemanasan di dalam inti transformator (**Münster et al., 2017**). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui adanya perubahan karakteristik dielektrik minyak Transformator terhadap perubahan karakteristik kimia seperti minyak Gas to Liquid. pengujian kekuatan dielektrik minyak isolasi tidak hanya resistivitas jenis, tetapi juga dibandingkan dengan parameter yang masih berhubungan seperti rugi rugi dielektrik. Pengujian tersebut nantinya akan dibandingkan pula dengan nilai kimia minyak gas to liquid seperti angka keasaman, kadar air, dan skala warna untuk mengetahui adanya perubahan molekul kimia pembentuk minyak gas to liquid tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengondisian Sampel



Gambar 1. Sampel Minyak Gas to Liquid dan Kraft Paper

Sampel penelitian ini adalah minyak *gas to liquid* (GTL) dan tipe minyak yang digunakan adalah Diala ZX4-I. Minyak Shell Diala ZX4-I adalah minyak yang bisa didapatkan di pasar bebas sesuai dengan pabrikan dari setiap minyak. Untuk mensimulasikan kondisi aktual dalam Transformator, 800 ml sampel minyak GTL dimasukkan bersama-sama dalam botol tahan panas dan diberikan dengan inisial kondisi yang sama melalui pemanasan pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian semua sampel ditambahkan dengan 4 lembar kertas isolasi Kraft dan dipanaskan dalam oven listrik sehingga mengalami kondisi penuaan termal dipercepat mulai dari 336 jam hingga 1008 jam pada temperatur 120°C dan 150°C sesuai tabel 1. Untuk menghasilkan dua level temperatur ini, sampel dimasukkan ke dalam dua oven yang berbeda. Level temperatur 150°C dipilih dengan merujuk pada penelitian (**McShane et al., 2003**), sedangkan temperatur 120°C merupakan maximum hotspot menurut IEEE Std. C57-104-1991.

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 alumunium untuk mencegah adanya kontaminasi bahan lain yang dapat mengganggu sampel (**Dewi et al., 2018**). Sampel ditempatkan pada suatu kontainer yang dapat menampung 40 vial sampel. Vial berisi sampel kemudian diuji karakteristik dielektrik dan kimia dan hasil pengujiannya disajikan dalam suatu tabel pengamatan.



Gambar 2. Pengujian Karakteristik dielektrik (a) tan delta meter dan null indikator (b) High Resistance Meter

Pengujian faktor rugi-rugi dielektrik dilakukan dengan menggunakan Tan delta meter dan null indikator dengan menggunakan prinsip Schering Bridge. Faktor rugi-rugi dielektrik ini menyatakan adanya rugi-rugi pada dielektrik jika dioperasikan pada tegangan bolak balik (**Sari et al., 2019**). Pengujian resistivitas jenis dilakukan dengan menggunakan alat High Resistance Meter. Tegangan yang digunakan ketika pengujian adalah 1000 V 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.



Gambar 3. Pengujian Karakteristik dielektrik

(a) Uji Kadar Air Karl Fischer (b) colorimeter Livobond PFX 195

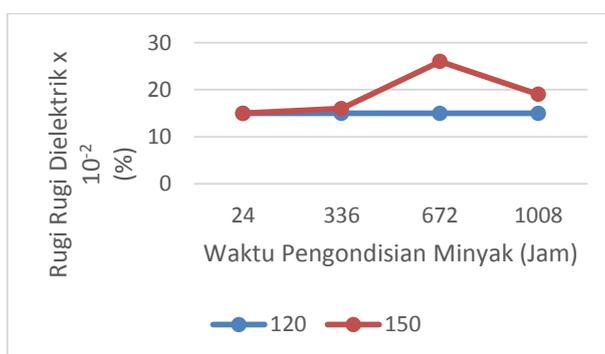
Karakteristik kimia yang dilakukan antara lain pengujian kadar air, pengujian angka keasaman, dan skala warna minyak Transformator. Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan metode Karl Fischer. Sebelum digunakan, alat ini dijalankan dalam keadaan tanpa sampel (dikalibrasi) sampai diperoleh hasil pembacaan 0 ppm. Pengujian angka keasaman dilakukan dengan cara titrasi menggunakan tabung Erlenmeyer. Angka asam dinyatakan sebagai mg KOH yang diperlukan untuk menetralkan senyawa asam dalam 1 gram sampel minyak. Pengujian skala warna dilakukan dengan menggunakan Livobond PFX 195 Tintometer seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Prosedur pengujian ini didasarkan pada standar ASTM D-1500.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

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 rugi rugi dielektrik dan resistivitas jenis. Sedangkan karakteristik kimia yang dilakukan antara lain pengujian kadar air, pengujian angka keasaman (**Sorimuda Ritonga et al., 2019**). Data yang sudah didapatkan kemudian dianalisis apakah sudah sesuai dengan standar pengujian yang digunakan yaitu IEC dan ASTM.

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Karakteristik Dielektrik



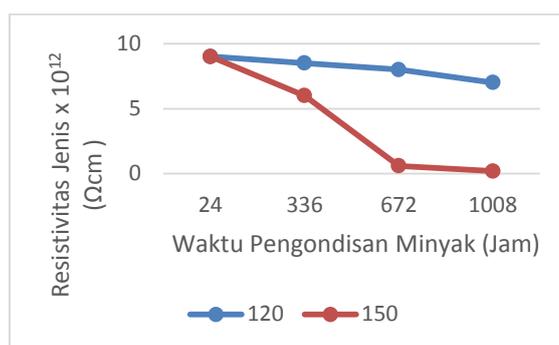
Gambar 4. Hasil pengujian rugi rugi dielektrik minyak *Gas to Liquid*

Gambar 4 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 temperature 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%.

Minyak transformator dengan pemanasan 150°C memiliki polaritas yang lebih tinggi dibandingkan minyak 120°C, karena memiliki struktur atom yang tidak seimbang dan tidak simetris. Dengan demikian gesekan yang lebih sering terjadi dan akibatnya rugi-rugi

dielektrik minyak Transformator 150⁰C lebih tinggi dibandingkan dengan minyak pemanasan 120⁰C. Rugi-rugi dielektrik muncul karena adanya gesekan dan perlawanan pada dipol ketika suatu material diberi medan, sehingga terjadi perubahan orientasi muatan pada isolasi dan adanya peluahan yang membutuhkan energi sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh **(Williamson et al., 2019)**

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai resistivitas jenis minyak gas to liquid setelah diberi perlakuan penuaan thermal baik pada pemanasan 120⁰C maupun 150⁰C. nilai resistivitas jenis minyak gas to liquid dengan pemanasan thermal 120⁰C 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 150⁰C 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. Penurunan nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas suatu bahan. Hal ini sejalan dengan penelitian **(Ottesen et al., 2020)** yang menyebutkan bahwa pada bahan isolasi yang memiliki faktor rugi-rugi yang meningkat seiring dengan durasi penuaan, maka resistivitasnya menurun seiring proses penuaan.

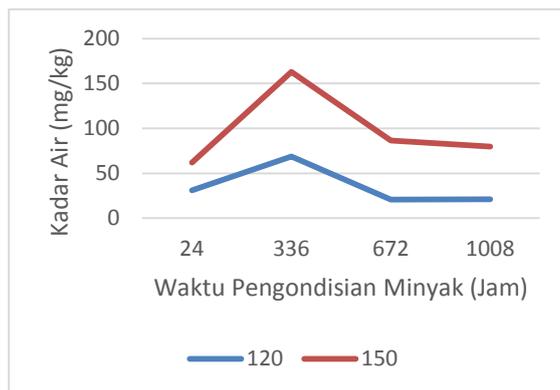


Gambar 5. Hasil pengujian resistivitas minyak Gas to Liquid

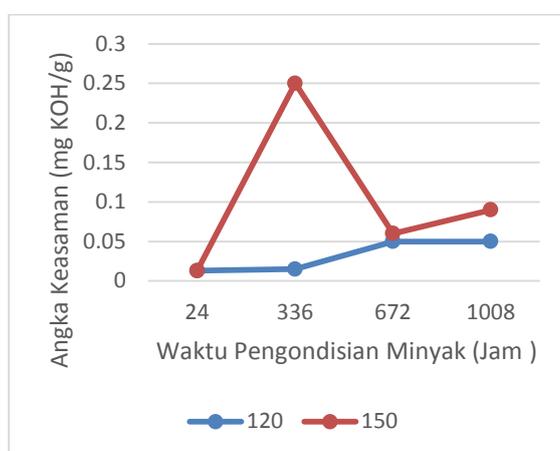
3.1 Karakteristik Kimia

Dari gambar 6 hubungan kadar air dan durasi penuaan menunjukkan bahwa minyak gas to liquid proses penuaan selama 336 jam di temperatur 150⁰C menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur penuaan 120⁰C. 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. kenaikan kadar air mengalami kenaikan signifikan pada temperatur pemanasan yang lebih tinggi, karena pada temperatur 150⁰C air yang berpindah dari kertas isolasi lebih banyak sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh **(Cimbala et al., 2020)**.

Kemudian setelah penuaan selama 672 jam, nilai kadar air mengalami penurunan dari 68.61 mg/kg menjadi 20.89 mg/kg pada temperatur pemanasan 120C dan dari 94.51 mg/kg menjadi 65.67 mg/kg. reaksi yang terjadi antara air dan trigleserida, sehingga kadar air semakin menurun pada temperatur yang lebih tinggi. Setelah proses penuaan selama 1008 jam reaksi pirolisis pada kertas yang menghasilkan air lebih dominan terjadi dari pada reaksi pada minyak sehingga pada temperatur 150⁰C kadar air lebih tinggi. Secara umum, nilai kadar air minyak gas to liquid berada di atas standar ASTM D1533 sebesar 35 mg/kg,



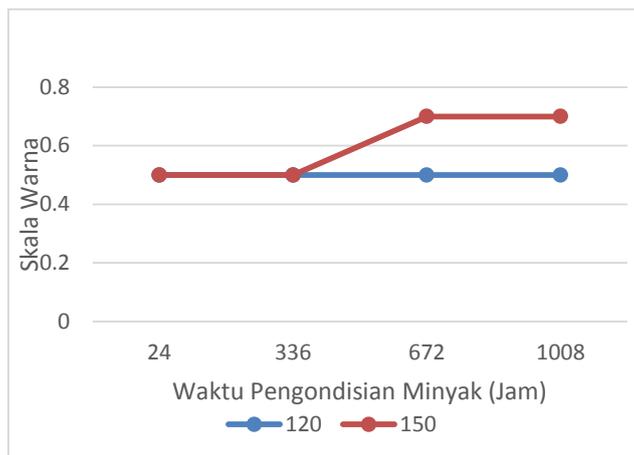
Gambar 6. Hasil pengujian kadar air minyak *Gas to Liquid*



Gambar 7. Hasil pengujian angka keasaman minyak *Gas to Liquid*

Berdasarkan gambar 7 di atas, 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. Temperatur pemanasan juga berhubungan dengan kenaikan skala warna minyak, bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan berbanding lurus dengan kenaikan skala warna minyak transformator. Hal tersebut diakibatkan adanya kandungan asam yang dihasilkan ketika proses oksidasi selama proses pemanasan minyak transformator di dalam tabung transformator (**Sun et al., 2016**). Nilai kadar asam minyak gas to liquid mengalami kenaikan pada semua temperatur pengujian dan nilainya berada di atas standar ASTM D974 yang ditentukan sebesar 0,20 mg KOH/g.

Berdasarkan gambar 8, 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.



Gambar 8. Hasil pengujian skala warna minyak *Gas to Liquid*

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 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.

Selain penurunan karakteristik dielektrik, terjadi juga penurunan karakteristik kimia. Setelah durasi penuaan selama 336 jam ,jumlah kadar air pada kertas pada temperatur 120C 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan 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. penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan rekan dosen dan tenaga pendidik Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap dan Lab Kimia Fisik Institut Teknologi Bandung yang telah mendukung kegiatan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Cimbala, R., Havran, P., & Bartko, P. (2020). Comparison of behavior of electroinsulating oils using thermo-hysteresis dependencies. *Proceedings - 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2020*. <https://doi.org/10.1109/EPE51172.2020.9269275>
- Dewi, T. I. D. K., Al-Ghifary, F., Sari, Y. E., Suwarno, & Sulaeman, A. (2018). The effects of accelerated thermal aging on chemical, electrical, and physical properties of natural ester oil. *4th IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2018 - Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPERE.2018.8739665>
- McShane, C. P., Corkran, J. L., Rapp, K. J., & Luksich, J. (2003). Aging of paper insulation retrofilled with natural ester dielectric fluid. *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Annual Report*. <https://doi.org/10.1109/ceidp.2003.1254810>
- Münster, T., Gratz, O., Gockenbach, E., Werle, P., Friedel, J., & Hilker, A. (2017). Investigation on the impregnation characteristics of a new GTL based synthetic insulating fluid. *2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids, ICDL 2017, 2017-Janua(Icdl)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICDL.2017.8124710>
- Ottesen, C., Orozco, H., Converse, E., Hoff, B. W., Hayden, S. C., Maestas, S. S., Kief, C., Reneker, J., & Macdonald, E. (2020). Compatibility of Printed Photopolymers with Nine-Month Immersion in Common High Voltage Insulation Oils. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *48*(10), 3312–3320. <https://doi.org/10.1109/TPS.2020.2978203>
- Rahmat, S., Suwamo, S., & Aminuddin, S. (2017). Effects of thermal ageing on the dielectric properties and dissolved gas analysis in ester from palm oil and Kraft composite paper insulation. *3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2016*, 209–213. <https://doi.org/10.1109/ICPERE.2016.7904873>
- Sari, Y. E., Al-Ghifary, F., Dewi, T. I. D. K., & Suwarno. (2019). Chemical and physical performance of kraft paper immersed in natural ester from palm oil under accelerated thermal aging. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, *11*(2), 408–426. <https://doi.org/10.15676/ijeei.2019.11.2.12>
- Sorimuda Ritonga, A. D., Erina Sari, Y., & Suwarno. (2019). Comparative Study of Liquid Insulating Materials for High Voltage Transformer. *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011143>
- Sun, P., Sima, W., Yang, M., & Wu, J. (2016). Influence of thermal aging on the breakdown characteristics of transformer oil impregnated paper. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, *23*(6), 3373–3381. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2016.005306>
- Wang, J., Li, J., Zhang, S., Liu, X., Gao, F., Jia, G., Bai, S., & Sun, J. (2016). Study on water absorption behaviour of a new type of gas-to-liquid transformer oil. *ICHVE 2016 - 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICHVE.2016.7800877>
- Williamson, C., Timoshkin, I., Macgregor, S., Wilson, M. P., Given, M. J., Sinclair, M., & Jones, A. (2019). Investigation of Impulsive Breakdown of Interfaces Formed by Ester Insulating Liquids and Solid Dielectrics. *IEEE International Pulsed Power Conference, 2019-June*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/PPPS34859.2019.9009766>

Pertanyaan :

Kaitan dengan skala warna bagaimana cara mengukurnya

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

Jawaban :

Menggunakan alat calorimeter Livobond PFX 195, jadi sampel minyak yang sudah ada di botol uji 30ml kemudian dimasukan ke bagian sampling di set waktu berapa kali waktu pengujian sehingga otomatis muncul nilainya yang dibandingkan dengan standar ASTM D-1500 yaitu 0,5.

Pertanyaan :

Jadi nilai warna semakin tinggi apakah semakin jelek

Jawaban :

Betul karena terlalu lama pemanasan kemudian dari pengujian juga semakin tinggi pemanasan semakin cepat berubah warna menjadi lebih keruh.