

Analisis Pengaruh Skala Warna dan UV-Vis Terhadap Tingkat Penuaan Isolasi Minyak

Galuh Prawetri Citra Handani^{a)}, Rohmanita Duanaputri^{*a)}, Rahman Azis Prasojo^{a)},
Sigit Setya Wiwaha^{a)}, Divac Nabel Akbar^{a)}, Galih Pratiti Citra Hastari^{a)}

(Artikel diterima: September 2023, direvisi: Oktober 2023)

Abstract: A transformer is a static equipment can transfer electrical energy using the principle of electromagnetic induction. In operating conditions, increasing of temperature will cause the oil insulation having disturbance, which will cause the insulation quality to decrease. In this research, oil isolation type shell diala b was chosen which was placed in an accelerated thermal aging chamber experiment device. Then shell diala b oil insulation is heated to a temperature of 120 °C and 160 °C with three sampling times. After this, the oil insulation characteristics were tested which includes oil color scale testing and UV-Visible spectrophotometric testing. The standard used refers to the IEC 60216-3 2006 standard for aging time and ASTM D-1500 COLOR SCALE for color testing. After testing the characteristics of shell diala b oil insulation, the value of the color scale had increased. The absorption of UV-Visible rays within the oil insulation is increase, which causes the color become darker as the temperature and the duration in the accelerated thermal aging chamber increases. chamber increases.

Keywords: color scale; themal ageing; transformer; transformer oil insulation; UV-Visible Spectrophotometric

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk serta perekonomian di Indonesia yang semakin meningkat mengakibatkan energi listrik menjadi salah satu kebutuhan vital. Maka tak heran jika hal ini mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik terus meningkat tiap tahunnya. Diperkirakan konsumsi listrik di Indonesia hingga tahun 2030 akan mengalami peningkatan sebesar tiga kali lipat jika dibandingkan pada tahun 2015, dengan rata-rata peningkatan pertahunnya sebesar 11 persen [1]. Kebutuhan akan energi listrik yang terus meningkat tentunya harus diiringi dengan keandalan sistem yang baik agar proses penyaluran energi listrik tidak mengalami kendala. Transformator mempunyai peranan penting dalam proses pendistribusian energi listrik. Transformator yang beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik adalah suatu perangkat statis yang mampu mentransfer energi listrik antara dua rangkaian energi listrik dengan frekuensi sama [2]. Trafo akan menaikkan tegangan yang dihasilkan pada pusat pembangkitan, kemudian akan diteruskan menuju saluran transmisi. Transformator akan menurunkan tegangan dari saluran transmisi yang selanjutnya akan diteruskan menuju saluran distribusi dan kemudian akan didistribusikan menuju ke pusat-pusat beban [3]. Bentuk transformator paling sederhana terdiri atas dua kumparan (*coil*) yang dibelitkan pada inti besi (*core*). Kedua sisi terisolasi secara elektris, tetapi terhubung secara magnetis melalui garis *reluctance* rendah. Apabila sumber tegangan bolak-balik (AC) dihubungkan pada salah satu kumparan maka akan timbul fluks magnet atau medan magnet pada inti besi. GGL (Gaya Gerak Listrik) akan dihasilkan oleh fluktuasi medan magnet di dalam kumparan. Gaya gerak listrik ini kemudian akan diinduksikan menuju kumparan kedua (sesuai dengan hukum induksi elektromagnetik) [4]. Namun tak jarang transformator juga mengalami gangguan. Terdapat beberapa faktor yang dapat mengakibatkan gangguan pada transformator, salah satunya yaitu adanya kegagalan pada sistem isolasi dari transformator. Oleh sebab itu diperlukan sistem isolasi yang baik untuk menunjang kinerja dari transformator agar gangguan pada transformator dapat diminimalisir.

Sangat penting untuk melakukan perkiraan terhadap sisa usia dari isolasi transformator, karena keandalan transformator bergantung dari kinerja isolasinya [5]–[7]. Agar transformator mampu bekerja dengan baik maka digunakan isolasi minyak dan isolasi kertas sebagai media isolasi dari transformator. Kombinasi dari isolasi minyak dan isolasi kertas dinilai mampu menahan tegangan tinggi serta operasi terganggan lebih pada saat transformator bekerja [8].

Bahan isolasi cair yang digunakan pada trafo dikenal dengan nama minyak trafo. Minyak mineral merupakan pilihan cairan isolasi yang banyak diminati untuk transformator. Hal ini dikarenakan minyak transformator memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu memiliki kompatibilitas yang baik dengan kertas isolasi, sifat fisik dan listrik yang baik (tidak hanya sebagai fluida pendingin tetapi juga sebagai isolator listrik), dan terutama jumlah ketersediaan serta biayanya yang cukup rendah. Selain berperan sebagai isolasi, minyak trafo dapat digunakan sebagai pendingin trafo. Oleh karena itu, minyak harus mempunyai kemampuan menahan panas yang dihasilkan selama pengoperasian trafo. Diharapkan dengan dua fungsi ini, minyak transformator mampu memberikan perlindungan dari berbagai gangguan secara efektif [9]. Adanya kegagalan pada isolasi minyak dapat mengakibatkan kegagalan transformator yang nantinya dapat menyebabkan adanya gangguan pada saat proses pengiriman energy listrik [10], [11].

Kombinasi dari sistem isolasi minyak dan isolasi kertas menunjukkan kinerja yang cukup baik dan memuaskan selama tahap awal pengoperasian transformator. Namun terjadi penurunan (degradasi) terhadap kinerja dari isolasi minyak seiring dengan semakin lamanya durasi pengoperasian transformator. Degradasi pada isolasi minyak ini bersifat permanen. Adapun degradasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya penuaan termal, penuaan listrik, dan faktor-faktor terkait lainnya [12]. Saat transformator dalam kondisi bekerja, akan terjadi kenaikan suhu yang berpengaruh terhadap penurunan kinerja dari isolasi minyak transformator [13]. Kenaikan suhu merupakan salah satu faktor penting penyebab degradasi pada sistem isolasi transformator. Kenaikan suhu yang cukup tinggi pada transformator terjadi pada saat transformator mengalami pembebanan penuh (sesuai dengan *nameplate*). Jika dibiarkan maka isolasi minyak tidak akan berfungsi dengan baik. Tentu saja hal ini juga berdampak pada

*Korespondensi: rohmanitar@polinema.ac.id

aa) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Kota Malang, 65141, Indonesia

umur isolasi minyak trafo seiring dengan berlangsungnya degradasi. Sehingga dilakukan penelitian terhadap karakteristik dari isolasi minyak transformator dengan cara melakukan pengujian skala warna serta pengujian UV-Vis yang dilakukan pada suhu eksperimen yang berbeda dengan jenis minyak yang sama.

Penelitian ini akan membahas tentang karakteristik insulasi minyak trafo, meliputi pengujian skala warna dan pengujian UV-Vis. Jenis isolasi minyak yang digunakan yaitu shell diala b dengan variasi suhu penuaan (*aging*) 120 °C dan 160 °C. Penggunaan suhu 120 °C didasarkan pada suhu atau batas beban yang disarankan untuk pembebanan sesuai dengan *nameplate* trafo distribusi [14]. Sedangkan penggunaan suhu 160 °C dimaksudkan untuk membuktikan bahwa usia isolasi transformator akan berakhir selama 706 jam [15]. Pengujian skala warna isolasi minyak transformator mengacu pada skala warna standar ASTM D-1500 COLOR SCALE.

2. Metodologi

2.1 Accelerated Thermal Aging

Accelerated thermal ageing merupakan salah satu eksperimen atau metode yang dilakukan pada isolasi kertas yang terendam isolasi minyak dengan cara mempercepat durasi eksperimen. Adapun cara mempercepat waktu eksperimen yaitu dengan cara menaikkan nilai temperatur dari transformator. Kemudian akan diamati dan dianalisis bagaimana pengaruh dari penuaan thermal (*thermal aging*) pada kondisi isolasi minyak dengan jenis isolasi minyak yang sama.

Eksperimen *accelerated thermal aging* dilakukan menggunakan alat *accelerated thermal ageing chamber*, yang mampu menampung isolasi minyak dengan kapasitas 3600 ml. Minyak mineral adalah cairan isolasi yang berasal dari minyak bumi yang diolah dan paling populer untuk transformator. Digunakan minyak mineral jenis Shell Diala B pada eksperimen *accelerated thermal aging* ini. Minyak jenis ini umumnya digunakan oleh PLN untuk transformator distribusi. Adapun spesifikasi dari minyak mineral Shell Diala B adalah sebagai berikut :

TABEL 2.1 KARAKTERISTIK FRESH OIL SHELL DIALA B

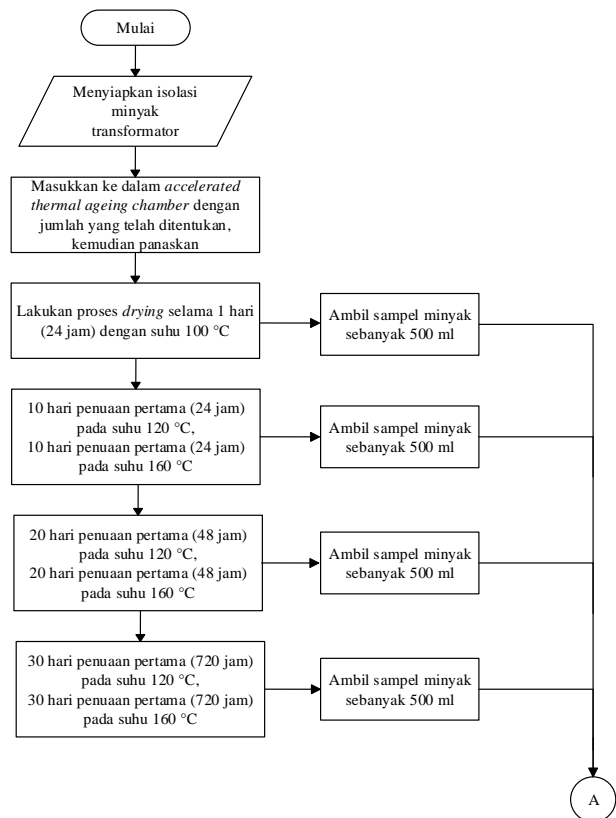
<i>Properties</i>	<i>Specification</i>
<i>Appearance</i>	Clear, free from sediment and suspended matter
<i>Density at 20°C</i>	805 kg/m ³
<i>Kinematic viscosity at 40°C</i>	9,6 mm ² /s
<i>Flashpoint</i>	191 °C
<i>Pourpoint</i>	-42 °C
<i>Total acidity</i>	0,02 mg KOH/g
<i>Breakdown voltage</i>	60 kV

Source: [16]



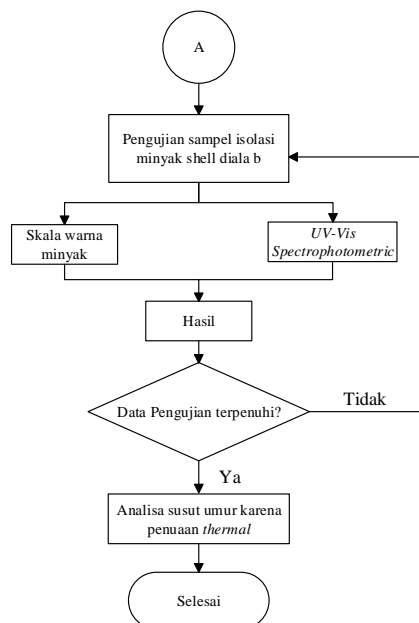
GAMBAR 2.1 ISOLASI MINYAK TIPE SHELL DIALA B

Gambar 2.2 merupakan *flowchart* untuk cara pengujian dan pengambilan sampel pada saat eksperimen. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menyiapkan isolasi minyak transformator. Selanjutnya isolasi minyak dimasukkan ke alat *accelerated thermal ageing chamber* sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan yaitu 3000 ml, kemudian panaskan isolasi minyak. Sebelum memulai proses eksperimen akan dilakukan proses *drying* (pengeringan) dengan suhu 100 °C selama 1 hari. Tujuan dari proses pengeringan ini adalah untuk menurunkan jumlah air pada isolasi minyak shell diala b. Sampel yang telah melalui proses *drying* akan digunakan sebagai sampel acuan pada saat melakukan pengujian karakteristik isolasi minyak. Setelah melakukan proses *drying*, kemudian dilanjutkan dengan eksperimen *accelerated thermal aging*. Eksperimen *accelerated thermal aging* dilakukan selama 30 hari, terdapat 2 variasi suhu berbeda yaitu 120 °C dan 160 °C untuk setiap suhu akan dilakukan 3 kali pengambilan sampel dengan durasi pengambilan sampel setiap 10 hari (240 jam) untuk setiap sampelnya.



GAMBAR 2.2 FLOWCHART PENGAMBILAN SAMPEL

Gambar di atas merupakan diagram alir untuk pengujian sampel. Setelah dilakukan eksperimen dan sampel dirasa telah mencukupi, kemudian akan dilakukan pengujian pada sampel isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging*. Pengujian karakteristik isolasi minyak meliputi pengujian skala warna dan pengujian spektrofotometer UV-Vis. Apabila data pengujian telah memenuhi kriteria, selanjutnya dilakukan analisis dampak *thermal aging* terhadap susut usia transformator.



GAMBAR 2.3 FLOWCHART PENGUJIAN SAMPEL

2.2 Pengujian Skala Warna

Kinerja dari transformator sangat bergantung pada kualitas isolasinya. Salah satu karakteristik fisik yang dapat digunakan untuk mengetahui kualitas dari isolasi minyak yaitu warna dari isolasi minyak. Semakin gelap warna dari minyak isolasi, maka kualitas dari minyak tersebut juga semakin buruk. Tentu saja rentang warna dasar berbeda-beda untuk setiap jenis *oil trafo*. Hal ini bergantung pada proses produksinya. Perubahan warna terjadi karena adanya kontaminasi akibat proses yang terjadi pada minyak transformator. Pengujian skala warna dilakukan dengan acuan standar ASTM D-1500 COLOR SCALE pada Lovibond PFX-195. Indikator warna yang diberikan oleh standar ASTM D-1500 COLOR SCALE dikualifikasikan dari angka 0 sampai 8 dengan gradasi 0.5.



GAMBAR 2.4 ASTM D-1500 COLOR SCALE

Tujuan dari pengujian skala warna isolasi minyak transformator adalah untuk mengetahui apakah terdapat indikasi degradasi atau kontaminasi pada isolasi minyak pada saat transformator sedang dalam kondisi beroperasi. Cahaya yang ditransmisikan menentukan warna isolasi minyak dan dinyatakan dalam nilai berdasarkan perbandingan dengan standar warna.



GAMBAR 2.5 LOVIBOND PFX-195



GAMBAR 2.6 SAMPEL ISOLASI MINYAK

Gambar 2.6 bagian atas merupakan sampel isolasi minyak transformator yang telah melalui proses *drying* selama 1 hari dengan suhu 100 °C serta sampel isolasi minyak transformator yang telah melalui proses eksperimen dengan suhu *aging* 120 °C selama 30 hari yang akan diuji skala warnanya. Gambar 2.6 bagian bawah merupakan sampel isolasi minyak transformator yang telah melalui proses *drying* selama 1 hari dengan suhu 100 °C serta sampel isolasi minyak transformator yang telah melalui proses eksperimen dengan suhu *aging* 160 °C selama 30 hari yang akan diuji skala warnanya.

2.3 Pengujian UV-Visible Spectrophotometric

Ultraviolet-Visible spectrophotometric atau spektrofotometer ultraviolet-tampak merupakan teknik spektrofotometri yang paling banyak digunakan untuk melakukan analisis pada berbagai senyawa. Spektrofotometer UV-Vis merupakan teknik pengujian yang dilakukan tanpa merusak suatu material yang dapat dilakukan secara *online* dengan biaya yang relative lebih terjangkau dengan cara yang sederhana [19]. Teknik ini bekerja atas dasar pengukuran interaksi radiasi elektromagnetik (EMR) dengan materi pada panjang gelombang tertentu. Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur transmisi atau serapan suatu sampel sehubungan dengan panjang gelombangnya. Penyerapan

cahaya pada panjang gelombang tertentu ditentukan oleh senyawa atau warna yang ada pada masing-masing medium. Cara kerja spektrofotometer adalah ketika cahaya (baik monokromatik maupun campuran) diarahkan ke suatu zat seragam, sebagian cahaya akan dipantulkan, sebagian akan diserap di dalam zat, dan sisanya akan diteruskan. Nilai absorbansi digunakan untuk menyatakan nilai yang diperoleh dari cahaya yang ditransmisikan jika dihubungkan dengan konsentrasi sampel.

Penafsiran yang akurat dari spektrofotometri UV-Vis dapat memberikan informasi yang akurat tentang kesehatan peralatan listrik. Sehingga dapat digunakan sebagai alternatif untuk merencanakan pemeliharaan dan kegiatan operasional yang hemat biaya, serta dapat digunakan untuk memperkirakan sisa usia dari isolasi transformator yang dapat dilihat dari tingkat penuannya [20]–[24]. Alat spektrofotometer akan dihubungkan ke perangkat lunak komputer untuk dapat menampilkan spektrum penyerapan (*absorbance*) dari sinar UV-Vis. Secara umum, spektrofotometer mempunyai kemampuan mengukur dalam rentang panjang gelombang 200 nm hingga 1400 nm [19]. Namun hal ini kembali pada spesifikasi dari pabrikan untuk masing – masing merk dari alat spektrofotometer tersebut. Spektrum yang diperoleh menyajikan *absorbance* sebagai fungsi dari panjang gelombang.



GAMBAR 2.7 SPEKTROFOTOMETER UV-Vis SHIMADZU 1601

Pengujian UV-Vis isolasi minyak transformator shell dila B dilakukan dengan tujuan dapat mengetahui tingkat penyerapan (*absorbance*) sinar UV-Vis dari sampel minyak yang telah melalui proses eksperimen pada suhu 120 °C dan 160 °C. Telah dilakukan pengujian insulasi minyak trafo menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601. Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601 dapat mengukur dalam rentang panjang gelombang 200 nm hingga 800 nm.. Sampel isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* maupun proses eksperimen dengan suhu 120 °C dan 160 °C harus dimasukkan ke dalam wadah yang tertutup aluminium foil. Hal ini bertujuan agar sampel tidak terkontaminasi dengan cahaya sekitar yang nantinya dapat mempengaruhi hasil dari pengujian UV-Vis.



GAMBAR 2.8 SAMPEL ISOLASI MINYAK

3. Hasil dan Pembahasan

Pada tabel karakteristik isolasi minyak suhu 120 °C, 160 °C, dan gambar variasi skala warna di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dari skala warna isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging*. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat bentuk penampakan fisik dari isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu 120 °C. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat bentuk penampakan fisik dari isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu 160 °C. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat grafik hasil pengujian skala warna dari isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* selama 1 hari dengan suhu 100 °C dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu *aging* 120 °C dan 160 °C.

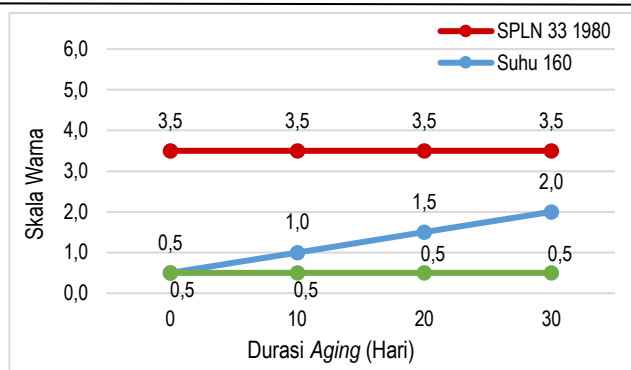
TABEL 3.1 KARAKTERISTIK ISOLASI MINYAK PADA SUHU AGING 120 °C

Parameter	Suhu Aging 120 °C			
	Drying	10 Hari	20 Hari	30 Hari
Penampakan Fisik				
Skala Warna	0.5	0.5	0.5	0.5

TABEL 3.2 KARAKTERISTIK ISOLASI MINYAK PADA SUHU AGING 160 °C

Parameter	Suhu Aging 160 °C			
	Drying	10 Hari	20 Hari	30 Hari
Penampakan Fisik				
Skala Warna	0.5	1.0	1.5	2.0

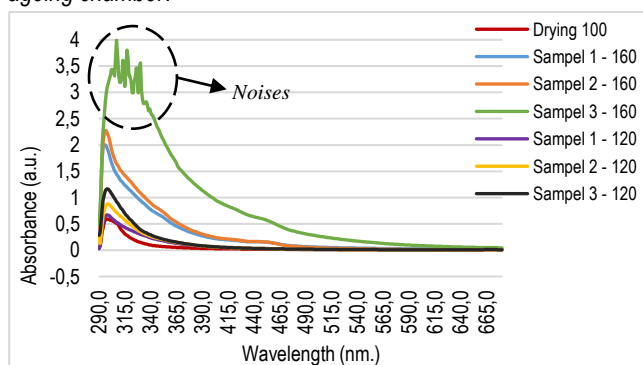
Diketahui pada Tabel 3.1 warna dari isolasi minyak transformator yang telah mengalami eksperimen *accelerated thermal aging* dengan suhu *aging* 120 °C tidak mengalami perubahan dengan skala warna yang dihasilkan yaitu 0,5. Sedangkan pada Tabel 3.2 warna dari isolasi minyak transformator yang telah mengalami eksperimen *accelerated thermal aging* dengan suhu *aging* 160 °C akan semakin gelap seiring dengan semakin lamanya durasi eksperimen *accelerated thermal aging*.



GAMBAR 3.1 VARIASI SKALA WARNA DENGAN DURASI DAN SUHU AGING YANG BERBEDA

Menurut standar IEC 60422, warna maksimum minyak yang digunakan untuk pendinginan pada peralatan listrik baru adalah 2,0, sedangkan warna maksimum yang baik tidak melebihi 4,5, dan berdasarkan standar SPLN 33 tahun 1980 menetapkan ketentuan untuk nilai skala warna maksimum isolasi minyak transformator adalah 3,5 [25]–[27]. Berdasarkan pada Gambar 3.1 diketahui jika nilai skala warna isolasi minyak yang telah melalui proses eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari masih berada di bawah standar. Nilai skala warna isolasi minyak yang telah melalui proses eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu 120 °C memiliki nilai yang konstan yaitu sebesar 0,5. Sedangkan nilai skala warna isolasi minyak yang telah melalui proses eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu 160 °C mengalami peningkatan yang konstan yaitu sebesar 0,5. Maka kesimpulan yang dapat diambil dari Gambar 3.1 yaitu nilai skala warna isolasi minyak dengan jenis shell diala b akan semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging*. Hal ini mengindikasikan isolasi minyak shell diala b masih layak pakai. Jika nilai skala warna melebihi standar yang digunakan, maka hal ini mengindikasikan adanya lonjakan suhu atau suhu pengoperasian yang tinggi pada transformator.

Gambar 3.2 merupakan grafik hasil pengujian spektrofotometer UV-Vis dari isolasi minyak yang telah melalui proses *drying* selama 1 hari dengan suhu 100 °C dan sampel isolasi minyak yang telah melalui eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari dengan suhu *aging* 120 °C dan 160 °C. Setelah melakukan pengujian, akan didapatkan grafik karakteristik yang menunjukkan tingkat penyerapan (*absorbance*) UV-Vis pada panjang gelombang (*wavelength*) 200 – 800 nm dengan pengaruh perbedaan suhu serta durasi *aging* pada alat *accelerated thermal ageing chamber*.



GAMBAR 3.2 VARIASI TINGKAT PENYERAPAN (ABSORBANCE) UV-

Vis DENGAN DURASI DAN SUHU AGING YANG BERBEDA

Berdasarkan Gambar 3.2 sampel pertama dengan pemanasan pada suhu 120 °C (10 hari) memiliki tingkat penyerapan (*absorbance*) yang paling rendah, dengan puncaknya yaitu berada pada 0,673 a.u. dan pada panjang gelombang 298,0 nm. Sedangkan sampel ketiga dengan pemanasan pada suhu 160 °C (30 hari) memiliki tingkat penyerapan (*absorbance*) yang paling tinggi, dengan puncaknya yaitu berada pada 4,000 a.u. dan pada panjang gelombang 307,0 nm. Terdapat kebisingan (*noises*) pada sampel 3 dengan suhu *aging* 160 °C. Hal ini disebabkan karena rasio transmisi cahaya yang melewati kuvet sampel 3 isolasi minyak eksperimen dengan suhu *aging* 160 °C terhadap transmisi cahaya yang melewati kuvet sampel minyak referensi relatif sangat rendah. Sehingga absorbansi pada sampel 3 dengan suhu *aging* 160 °C mencapai nilai yang tinggi dan menyebabkan kebisingan (*noises*). Sehingga dapat disimpulkan jika nilai spektrum penyerapan UV-Vis isolasi minyak dengan jenis shell diala b akan semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging*, sehingga produk sampingan dekomposisi yang dihasilkan pada isolasi minyak juga semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan warna dari isolasi minyak menjadi lebih gelap seiring dengan meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging* pada alat *accelerated thermal ageing chamber*.

Tingkat penyerapan (*absorbance*) sinar UV-Vis yang tinggi pada isolasi minyak transformator mengindikasikan adanya masalah atau terdapat kontaminan seperti partikel, air, produk degradasi, atau zat – zat yang tidak diinginkan pada isolasi minyak transformator. Adanya kontaminan pada transformator dapat mengurangi kemampuan isolasi minyak untuk memisahkan antara lilitan dan komponen dari transformator dan meningkatkan risiko kebocoran arus listrik serta hubung singkat. Penyerapan sinar UV-Vis yang tinggi juga menunjukkan adanya zat yang dapat menyebabkan peningkatan rugi daya yang mengakibatkan peningkatan suhu dan penurunan efisiensi transformator. Selain itu penyerapan sinar UV-Vis yang tinggi juga mengindikasikan minyak mengalami degradasi atau oksidasi yang lebih cepat.

4. Kesimpulan

Simpulan akhir dari pengujian skala warna serta spektrofotometri UV-Vis serta eksperimen *accelerated thermal aging* dengan durasi 30 hari dengan dua variasi suhu yaitu 120 °C dan 160 °C menggunakan alat *accelerated thermal ageing chamber* pada isolasi minyak dengan jenis shell diala b antara lain :

1. Nilai skala warna (*colour scale*) isolasi minyak dengan jenis shell diala b akan semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging*. Nilai skala warna isolasi minyak yang telah melalui proses eksperimen *accelerated thermal aging* selama 30 hari, baik dengan suhu pemanasan (*aging*) 120 °C maupun 160 °C masih berada di bawah standar. Hal ini mengindikasikan isolasi minyak shell diala b masih layak pakai.
2. Nilai spektrum penyerapan UV-Vis isolasi minyak dengan jenis shell diala b akan semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging*, sehingga produk sampingan dekomposisi yang

dihasilkan pada isolasi minyak juga semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan warna dari isolasi minyak menjadi lebih gelap seiring dengan meningkatnya suhu dan durasi eksperimen *accelerated thermal aging* pada alat *accelerated thermal ageing chamber*. Terdapat kebisingan (*noises*) pada sampel 3 dengan suhu *aging* 160 °C. Hal ini disebabkan karena rasio transmisi cahaya yang melewati kuvet sampel 3 isolasi minyak eksperimen dengan suhu *aging* 160 °C terhadap transmisi cahaya yang melewati kuvet sampel minyak referensi relatif sangat rendah. Sehingga absorbansi pada sampel 3 dengan suhu *aging* 160 °C mencapai nilai yang tinggi dan menyebabkan kebisingan (*noises*).

Daftar Pustaka

- [1] Katadata, "Proyeksi Kebutuhan Listrik Indonesia 2015-2030," 2016, <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2016/08/04/proyeksi-kebutuhan-listrik-indonesia-2015-2030> (accessed Oct. 28, 2022).
- [2] S. Sharma, "Basics of Electrical Engineering," *Basics Electr. Eng.*, p. 598, 2007.
- [3] A. K. Rashed, D. E. A. Mansour, A. Rezk, and M. Ghali, "Effect of Oxidation of Aged Power Transformer Insulating Oil on UV-Vis Spectra," *Proc. - IEEE Int. Conf. Dielectr. Liq.*, vol. 2022-May, no. 25982, pp. 2–5, 2022, doi: 10.1109/ICDL49583.2022.9830922.
- [4] B.L.Theraja and A.K.Theraja, "A Textbook of Electrical Technology AC & DC Machine." p. 709, 2005.
- [5] V. Vasovic *et al.*, "Aging of transformer insulation - Experimental transformers and laboratory models with different moisture contents: Part i - DP and furans aging profiles," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 26, no. 6, pp. 1840–1846, 2019, doi: 10.1109/TDEI.2019.008183.
- [6] T. Mariprasath and V. Kirubakaran, "A critical review on the characteristics of alternating liquid dielectrics and feasibility study on pongamia pinnata oil as liquid dielectrics," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, pp. 784–799, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.07.036.
- [7] R. J. Liao, B. Xiang, L. J. Yang, C. Tang, and H. G. Sun, "Study on the thermal aging characteristics and bond breaking process of oil-paper insulation in power transformer," *Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul.*, pp. 291–296, 2008, doi: 10.1109/ELINSL.2008.4570332.
- [8] M. Ahmad, I. Daris, H. Rahmat, and S. Suwarno, "Aging Behavior of Mineral Oil, Gas-to-Liquid (GTL), and Natural Ester Liquids in Presence of Cellulosic Materials," *2021 3rd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2021*, pp. 501–506, 2021, doi: 10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601042.
- [9] C. Widyastuti and R. A. Wisnuaji, "Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor," *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, pp. 75–78, 2019, doi: 10.30630/eji.11.2.128.
- [10] A. Munajad, C. Subroto, and Suwarno, "Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy analysis of transformer paper in mineral oil-paper composite insulation under accelerated thermal aging," *Energies*, vol. 11, no. 2, 2018, doi: 10.3390/en11020364.
- [11] Suwarno and R. A. Pasaribu, "Thermal aging of mineral oil-paper composite insulation for high voltage transformer," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 8, no. 4, pp. 819–834, 2016, doi: 10.15676/ijeei.2016.8.4.9.
- [12] T. Mariprasath and V. Kirubakaran, "A real time study on condition monitoring of distribution transformer using thermal imager," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 90, pp. 78–86, 2018, doi: 10.1016/j.infrared.2018.02.009.
- [13] Z. Poniran and Z. A. Malek, "Life assessment of power transformers via paper ageing analysis," *POWERENG 2007 - Int. Conf. Power Eng. - Energy Electr. Drives Proc.*, pp. 460–465, 2007, doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380104.
- [14] IEEE C57.91™, *IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators - Redline*, vol. 2011, no. March. 2012.
- [15] IEEE C57.100, *IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers*, vol. 2011, no. December. 2011.
- [16] Shell, "Shell Diala S4 ZX-I Sicherheitsdate," pp. 5–7, 2014.
- [17] ASTM International United States, "Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale) 1," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 05, no. October 1959, pp. 1–5, 2011, doi: 10.1520/D1500-12R17.This.
- [18] PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, "Pengujian Warna Disusun : Tim Laboratorium PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali," 2018.
- [19] A. M. Alshehawy, D. E. A. Mansour, A. Rezk, and M. Ghali, "Impact of thermal aging of transformer oil on UV-Vis optical spectrum and dielectric properties," *2016 18th Int. Middle-East Power Syst. Conf. MEPCON 2016 - Proc.*, pp. 860–865, 2017, doi: 10.1109/MEPCON.2016.7836996.
- [20] T. K. Saha, "Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 10, no. 5, pp. 903–917, 2003, doi: 10.1109/TDEI.2003.1237337.
- [21] M. Benounis, T. Aka-Ngnui, N. Jaffrezic, and J. P. Dutasta, "NIR and optical fiber sensor for gases detection produced by transformation oil degradation," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 141, no. 1, pp. 76–83, 2008, doi: 10.1016/j.sna.2007.07.036.
- [22] J. Li, W. Si, X. Yao, and Y. Li, "Partial discharge characteristics over differently aged oil/pressboard interfaces," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 16, no. 6, pp. 1640–1647, 2009, doi: 10.1109/TDEI.2009.5361584.
- [23] S. Karmakar, N. K. Roy, and P. Kumbhakar, "Effect of ageing in transformer oil using UV-visible spectrophotometric technique," *J. Opt.*, vol. 40, no. 2, pp. 33–38, 2011, doi: 10.1007/s12596-011-0030-4.
- [24] A. Abu-Siada, L. S. Pin, and S. Islam, "Remnant life estimation of power transformer using oil UV-Vis spectral response," *2009 IEEE/PES Power Syst. Conf. Expo. PSCE 2009*, 2009, doi: 10.1109/PSCE.2009.4840111.
- [25] IEC 60422, *Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance*. 2013.
- [26] Sofyan, Ruslan, and A. Efendi, "Studi Penuaan Minyak Transformator Distribusi," *Pros. Semin. Has. Penelit. 2018*, vol. 2018, pp. 63–71, 2018.