

ABSTRACT

Retrofilling with synthetic esters is one alternative for improving reliability and extending the service life of transformer insulation systems. However, most previous studies have been conducted using *accelerated aging* under laboratory conditions, so validation of synthetic ester performance under field operating conditions remains limited. This study evaluates the performance of two 630 kVA distribution transformers using Shell Diala S4 mineral oil and MIDEL 7131 synthetic ester through *in situ* monitoring over a six-month period. The evaluation covered dielectric, thermal, chemical, and solid insulation characteristics based on *Breakdown Voltage* (BDV), *Interfacial Tension* (IFT), *moisture*, *Dissolved Gas Analysis* (DGA), *Degree of Polymerization* (DP), furan, and an estimate of the transformer's remaining service life. The results showed that MIDEL 7131 exhibited higher dielectric performance with an average BDV of 71.8 kV, compared to 45.4 kV for Shell Diala S4. Transformers using MIDEL 7131 exhibited a maximum operating temperature approximately 10 °C higher. The moisture content of MIDEL 7131 increased to 312.99 ppm, indicating the ester's ability to accommodate moisture and the occurrence of moisture redistribution between solid and liquid insulation. DGA revealed different gas-generation characteristics between the two fluids. Furan analysis showed a concentration of <24 ppb in MIDEL 7131 compared to 288 ppb in Shell Diala S4. DP testing on four paper coupons showed varying responses across positions, with all final values remaining well above the insulation end-of-life criterion of 295. Based on the DP values, MIDEL 7131 maintained an estimated remaining life (Tx) equivalent to or higher than that of mineral oil in three of the four samples, with all samples still showing Tx >80% after six months of operation. Overall, the field test results indicate that MIDEL 7131 is worth considering as an alternative retrofill fluid and a strategy for *asset life extension* in distribution transformers.

Keywords: Retrofilling, synthetic ester, MIDEL 7131, dielectric performance, remaining transformer life.

INTISARI

Retrofilling menggunakan ester sintetis merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan keandalan dalam perpanjangan umur sistem isolasi transformator. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih dilakukan melalui *accelerated aging* pada kondisi laboratorium, sehingga validasi kinerja ester sintetis pada kondisi operasi lapangan masih terbatas. Penelitian ini mengevaluasi kinerja dua transformator distribusi 630 kVA menggunakan minyak mineral Shell Diala S4 dan ester sintetis MIDEL 7131 melalui pemantauan *in situ* selama enam bulan. Evaluasi mencakup karakteristik dielektrik, termal, kimia, dan isolasi padat berdasarkan *Breakdown Voltage* (BDV), *Interfacial Tension* (IFT), *moisture*, *Dissolved Gas Analysis* (DGA), *Degree of Polymerization* (DP), furan, dan estimasi persentase sisa umur transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MIDEL 7131 memiliki kinerja dielektrik lebih tinggi dengan rata-rata BDV 71,8 kV, dibandingkan 45,4 kV pada Shell Diala S4. Transformator dengan MIDEL 7131 menunjukkan temperatur operasi maksimum sekitar 10 °C lebih tinggi. Kandungan air MIDEL 7131 meningkat hingga 312,99 ppm yang mengindikasikan kemampuan ester mengakomodasi kelembapan dan terjadinya redistribusi kelembapan antara isolasi padat dan cair. DGA menunjukkan karakteristik pembentukan gas yang berbeda antara kedua fluida. Analisis furan menunjukkan konsentrasi <24 ppb pada MIDEL 7131 dibandingkan 288 ppb pada Shell Diala S4. Pengujian DP pada empat kupon kertas menunjukkan respons yang bervariasi antarposisi, dengan seluruh nilai akhir tetap jauh di atas kriteria akhir umur isolasi sebesar 295. Berdasarkan nilai DP, MIDEL 7131 mempertahankan estimasi sisa umur (Tx) yang setara atau lebih tinggi dibandingkan minyak mineral pada tiga dari empat sampel, dengan seluruh sampel masih menunjukkan Tx >80% setelah enam bulan operasi. Secara keseluruhan, hasil penelitian lapangan menunjukkan bahwa MIDEL 7131 layak dipertimbangkan sebagai alternatif fluida retrofilling dan strategi *asset life extension* pada transformator distribusi.

Kata kunci: Retrofilling, ester sintetis, MIDEL 7131, kinerja dielektrik, sisa umur transformator