SKRIPSI

ANALISIS UMUR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2.5 MVA 6.6/0.42 kV 3 PHASE BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI

ACHMAD ZAKIYAH USMAN

NIM. 20221330039

DOSEN PEMBIMBING:

WINARNO., ST., MT

REYNANDA BAGUS WIDYO ASTOMO., ST., MT

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA

2026

SKRIPSI

ANALISIS UMUR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2.5 MVA 6.6/0.42 kV 3 PHASE BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI

ACHMAD ZAKIYAH USMAN
NIM. 20221330039

DOSEN PEMBIMBING:
WINARNO., S.T., M.T.
REYNANDA BAGUS WIDYO ASTOMO.,S.T., M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
2026

LEMBAR PEMBIMBING
SKRIPSI

ANALISIS UMUMR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2,5 MVA 6,6/0,42 Kv 3 PHASE
BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun oleh:
Achmad Zakiyah Usman
NIM. 20221330039

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing:

1. Winarno, S.T., M.T. (.....)

2. Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T. (.....)

LEMBAR PENGUJI
SKRIPSI

ANALISIS UMUMR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2,5 MVA 6,6/0,42 Kv 3 PHASE *BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI*

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun oleh:
Achmad Zakiyah Usman
NIM. 20221330039

Disetujui oleh:

Dosen Penguji:

1. Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.T., M.T. (.....)
2. Winarno, S.T., M.T. (.....)
3. Triuli Novianti, ST., MT. (.....)

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

ANALISIS UMUMR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2,5 MVA 6,6/0,42 Kv 3 PHASE *BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI*

Disusun untuk memenuhi persyaratan akademik gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Disusun oleh:
Achmad Zakiyah Usman
NIM. 20221330039

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Ir. Vippy Dharmawan, M.Ars.
NIDN. 07.2509.6402

Disetujui oleh,
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Indah Kurniawati, S.T., M.T.
NIDN. 001.606.8101

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Achmad Zakiyah Usman
NIM : 20221330039
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Umur Pakai Transformator Daya 2,5MVA 6,6/0,42 kV 3 Phase Berdasarkan Beban Kerja dan Temperatur Operasi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan **asli** dari peneliti sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan penelitian yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini peneliti buat dengan sebenarnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Surabaya, September 2026
Yang membuat pernyataan,



Achmad Zakiyah Usman
NIM. 20221330039

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kata pertama yang dapat peneliti ucapkan atas ungkapan rasa syukur peneliti kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat, karunia, taufik serta hidayah-Nya sehingga pada kesempatan ini peneliti dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul "Rancang bangun sistem kendali suhu pada canting elektrik menggunakan metode fuzzy logic"

Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan akademis program Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik di Universitas Muhammadiyah Surabaya. Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat di perlukan agar skripsi ini menjadi lebih baik.

Peneliti ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang mendukung terselesaikannya laporan skripsi ini baik secara moril serta materi. Karena tanpa adanya dukungan tersebut, peneliti tidak akang sampai menyelesaikan laporan skripsi ini.

Untuk itu peneliti menyampaikan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Mundakir, S.Kep., Ns., M.Kep. FISQua., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surabaya.
2. Bapak Ir. Vippy Dharmawan, M. Ars., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya.
3. Ibu Dr. Indah Kurniawati, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya.
4. Bapak Winarno., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah menyetujui dan memberikan bimbingan dalam melakukan penelitian maupun penulisan laporan skripsi sehingga dapat selesai tepat waktu. Saya ucapkan terimakasih atas dedikasi beliau yang selalu sabar, terkenal cerdas, memberikan penjelasan secara bertahap sehingga mudah untuk dipahami dan ketulusan beliau dalam membimbing peneliti. Semoga adik – adik angkatan selanjutnya dapat memanfaatkan ilmu luar biasa yang diperoleh dari beliau dengan baik.
5. Bapak Reynanda Bagus Widyo Astomo, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran dan masukkan pada penelitian maupun dalam penulisan laporan skripsi sehingga dapat selesai tepat waktu. Spesial peneliti juga ucapkan

terimakasih atas dedikasi beliau yang terkenal banyak pengalaman dan cerdas, semoga adik – adik angkatan selanjutnya dapat memanfaatkan ilmu luar biasa yang diperoleh dari beliau dengan baik.

6. Bapak dan ibu Dosen Pengajar serta Staff di lingkungan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya yang senantiasa memberikan pesan – pesan dan arahan yang menumbuhkan motivasi dalam penyusunan skripsi.
7. Kedua orang tua peneliti yang telah memberikan bantuan moril dan materi, yang tidak kenal lelah memberikan dukungan penuh kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan tepat waktu.
8. Rekan – rekan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya, mahasiswa reguler angkatan 2022, mahasiswa P2K angkatan 2022 di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan, organisasi maupun membantu menemani dalam proses simulasi penelitian.
9. Semua pihak yang membantu menyelesaikan skripsi yang tidak dapat peneliti sebutkan satu persatu

Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi peneliti dan rekan – rekan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Surabaya, September 2026

Achmad Zakiyah Usman

ABSTRAK

ANALISIS UMUR PAKAI TRANSFORMATOR DAYA 2.5 MVA 6.6/0.42 kV 3 PHASE BERDASARKAN BEBAN KERJA DAN TEMPERATUR OPERASI

Transformator daya merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berperan dalam menjamin kontinuitas dan keandalan penyaluran energi listrik. Umur pakai transformator sangat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan temperatur operasi, khususnya temperatur hot-spot yang dapat mempercepat proses penuaan isolasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur pakai transformator daya 2,5 MVA 6,6/0,42 kV 3 fasa berdasarkan beban kerja dan temperatur operasi yang terjadi selama periode pengamatan.

Metode penelitian yang digunakan mengacu pada standar IEEE C57.91-2011. Analisis dilakukan melalui perhitungan rasio pembebanan, kenaikan suhu top-oil, kenaikan suhu hot-spot, suhu hot-spot, Aging Acceleration Factor (FAA), Equivalent Aging Factor (FEQA), Loss of Life (LOL) transformator serta susut umur transformator. Data yang digunakan meliputi data beban transformator dan temperatur lingkungan yang kemudian diolah untuk menentukan tingkat penuaan isolasi serta estimasi sisa umur pakai transformator.

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan beban kerja menyebabkan kenaikan temperatur operasi transformator, terutama temperatur hot-spot, yang berpengaruh langsung terhadap percepatan penuaan isolasi. Hasil perhitungan *Aging Acceleration Factor* (FAA) dan *Equivalent Aging Factor* (FEQA) menunjukkan nilai antara 1,34 hingga 5,81. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi pembebanan 0,8522 pu dengan temperatur titik panas 128,08°C, sedangkan nilai terendah terjadi pada pembebanan 0,7562 pu dengan temperatur titik panas 112,81°C. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap percepatan penuaan isolasi transformator. Semakin tinggi temperatur titik panas, semakin besar nilai FAA dan FEQA yang dihasilkan. Sedangkan perhitungan *Loss of Life* (LOL), susut umur harian transformator berada pada rentang 0,018% hingga 0,077%, sedangkan susut umur bulanan berkisar antara 0,558% hingga 2,31%. Nilai LOL tertinggi diperoleh pada saat temperatur titik panas mencapai 128,08°C, sedangkan nilai LOL terendah terjadi pada temperatur titik panas 112,81°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun transformator masih beroperasi pada tingkat pembebanan di bawah kapasitas nominal, peningkatan temperatur operasi secara berkelanjutan dapat mempercepat degradasi isolasi dan mengurangi umur pakai transformator. Dari hasil perhitungan sesuai dengan Standard IEEE C57.91-2011 didapat bahwa susut umur trafo dalam satu tahun adalah 13,795% sekitar 24882 jam, sehingga susut umur trafo adalah 155118 jam (17,96 tahun).

Kata kunci: transformator daya, umur pakai, temperatur hot-spot, loss of life, IEEE C57.91-2011, pembebanan transformator.

ABSTRACT

Analysis of The Service Life of 2.5 MVA 6.6/0.42 kV 3-Phase Power Transformer Based on Workload and Operating Temperature

Power transformers are key components in electric power systems, playing a vital role in ensuring the continuity and reliability of electrical energy distribution. A transformer's service life is significantly influenced by loading conditions and operating temperatures—specifically the hot-spot temperature, which can accelerate the insulation aging process. This study aims to analyze the service life of a 2.5 MVA 6.6/0.42 kV 3-phase power transformer based on the workload and operating temperatures recorded during the observation period.

The research methodology employed follows the IEEE C57.91-2011 standard. The analysis involved calculating the loading ratio, top-oil temperature rise, hot-spot temperature rise, hot-spot temperature, Aging Acceleration Factor (FAA), Equivalent Aging Factor (FEQA), and transformer Loss of Life (LOL) and life depreciation. The data used to comprise transformer load and ambient temperature were processed to determine the rate of insulation aging and to estimate the transformer's remaining service life.

The analysis results indicate that increased workload leads to a rise in transformer operating temperatures particularly the hot-spot temperature which directly accelerates insulation aging. Calculations of the Aging Acceleration Factor (FAA) and Equivalent Aging Factor (FEQA) yielded values ranging from 1.34 to 5.81. The highest values occurred at a loading of 0.8522 pu with a hot-spot temperature of 128.08°C, while the lowest values occurred at a loading of 0.7562 pu with a hot-spot temperature of 112.81°C. These findings demonstrate that operating temperature has a significant impact on the acceleration of transformer insulation aging; the higher the hot-spot temperature, the greater the resulting FAA and FEQA values. Regarding the Loss of Life (LOL) calculation, the transformer's daily loss of life ranged from 0.018% to 0.077%, while the monthly loss of life ranged from 0.558% to 2.31%. The highest LOL value was recorded when the hot-spot temperature reached 128.08°C, whereas the lowest LOL value occurred at a hot-spot temperature of 112.81°C. The results indicate that even when the transformer operates at a load level below its nominal capacity, sustained increases in operating temperature can accelerate insulation degradation and reduce the transformer's service life. Calculations based on the IEEE C57.91-2011 standard reveal an annual loss of life of 13.795% (approximately 24,882 hours), resulting in a total loss of life of 155,118 hours (17.96 years).

Keywords: power transformer, service life, hot-spot temperature, loss of life, IEEE C57.91-2011, transformer loading.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **ii**
LEMBAR PEMBIMBING SKRIPSI ..... **iii**
LEMBAR PENGUJI SKRIPSI ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... **v**
PERYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
ABSTRAK ..... **ix**
ABSTRACT ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Penelitian Terdahulu 7
2.2 Transformator Daya 7
2.2.1 Pengertian Transformator Daya 7
2.2.2 Prinsip Kerja Transformator 8
2.2.3 Komponen Utama Transformator 9
2.2.4 Sistem Proteksi Transformator 12
2.2.4.1 Proteksi 12
2.2.4.2 Tipe Proteksi 14
2.2.4.3 Gangguan Pada Transformator 14
2.2.4.4 Pengaman Transformator 16
2.2.4.5 Tujuan Pemasangan Relai Proteksi Trafo Tenaga 18
2.2.5 Fungsi Transformator Daya 18
2.3 Spesifikasi Transformator 19
2.3.1 Data Spesifikasi Trafo 19
2.4 Pendingin Transformator 19
2.5 Data Beban transformator 22
2.6 Standar IEEE C57.91-2011 23
2.6.1 Persamaan Penuaan 23
2.6.2 Percent Loss of Life 24

2.6.3 Suhu lingkungan dan pengaruhnya terhadap pemuatan....24
2.7 Regresi Eksponensial 25
BAB III METODE PENELITIAN....27
3.1 Jenis Penelitian 27
3.2 Waktu dan Lokasi Objek Penelitian 27
3.3 Data yang Dibutuhkan 27
3.4 Metode Pengumpulan Data....28
3.5 Metode Analisis Data....28
3.6 Diagram Alur Penelitian 29
3.7 Single Line Diagram....33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Pengumpulan Data Penelitian 35
4.2 Analisa Perhitungan Susut Umur Trafo 36
4.2.1 Menentukan Rasio Pembebanan 36
4.2.2 Kenaikan Suhu Top Oil....38
4.2.3 Kenaikan Suhu Hot Spot 42
4.2.4 Temperature Hot Spot 45
4.2.5 FAA (Factor Aging Aceleration) 46
4.2.6 FEQA (Factor Equivalent Agging) 48
4.2.7 LOL (Loss of Life)....50
4.3 Hasil Dan Pembahasan Yang Diperoleh 53
4.4 Analisis Perbandingan Menggunakan Regresi Eksponensoial 55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN....60
DAFTAR PUSTAKA....62
LAMPIRAN 63
Lampiran 1. Hasil Evaluasi Ujian Skripsi....64
Lampiran 2. Endorsement Letter....67
Lampiran 3. Surat keterangan Bebas Pinjam....68
Lampiran 4. Surat Keterangan Bebas Plagiasi....69
Lampiran 5. Dokumentasi Sidang Skripsi....75
Lampiran 6. Riwayat Hidup Penulis....76

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Dari Transformer 8
Gambar 2.2 Gambar Inti Besi Transformator 9
Gambar 2.3 Gambar Kumparan Transformator 10
Gambar 2.4 Bushing Transformator 11
Gambar 2.5 Tangki Konservator 11
Gambar 2.6 Tap Changer Off Load 12
Gambar 2.7 Name Plate transformator 19
Gambar 2.8 Grafik Transformator Insulation Life 23
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 29
Gambar 3.2 Single Line Diagram 33
Gambar 4.1 Grafik Beban dan LOL 54
Gambar 4.2 Trendline Grafik Eksponensial 58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan antara C57.91-2011 dengan IEC 60076-7 3
Tabel 2.1 Beban Transformator 22
Tabel 4.1 Suhu dan Beban Transformator 35
Tabel 4.2 Tabel Rasio Pembebanan 37
Tabel 4.3 Kenaikan Suhu Top Oil 41
Tabel 4.4 Suhu Top Oil 44
Tabel 4.5 Temperature Hot Spot 46
Tabel 4.6 Tabel FAA 47
Tabel 4.7 Tabel FEQA 50
Tabel 4.8 Tabel Loss of Life 52
Tabel 4.9 LOL dalam satu tahun 53
Tabel 4.10 Tabel Eksponensial 56