ANALISIS USIA PAKAI TRANSFORMATOR 150/70KV AKIBAT PEMBEBANAN DAN SUHU LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE *DEEP LEARNING-LSTM* PADA GI PT. PLN DOMPU

TUGAS AKHIR

WAHYUNINGRUM
41424120010

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026

lib.mercubuana.ac.id

ANALISIS USIA PAKAI TRANSFORMATOR 150/70KV AKIBAT PEMBEBANAN DAN SUHU LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE *DEEP LEARNING-LSTM* PADA GI PT. PLN DOMPU

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

NAMA : WAHYUNINGRUM

NIM : 41424120010

PEMBIMBING : Ir. BUDI YANTO HUSODO, S.T., M.Sc.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2026

lib.mercubuana.ac.id

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Wahyuningrum
N.I.M	:	41424120010
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir	:	Analisis Usia Pakai Transformator 150/70 kV Akibat Pembebanan Dan Suhu Lingkungan Menggunakan Metode *Deep Learning-LSTM* Pada GI PT. PLN Dompu

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Tugas Akhir saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 04 Agustus 2021

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Wahyuningrum

lib.mercubuana.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama	:	**WAHYUNINGRUM**
NIM	:	**41424120010**
Program Studi	:	**Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis / Praktek Keinsinyuran	:	**Analisis Usia Pakai Transformator 150/70 kV Akibat Pembebanan dan Suhu Lingkungan Menggunakan Metode Deep Learning-LSTM Pada GI PT. PLN Dompu**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Kamis, 20 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar **20 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 20 Agustus 2026

Administrator Turnitin,

Itmam Haidi Syarif

UNIVERSITAS MERCU BUANA

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	:	Wahyuningrum
NIM	:	41424120010
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul	:	Analisis Usia Transformator 150/70 kV Akibat Pembebanan dan Suhu Lingkungan Menggunakan Metode *Deep learning*-LSTM pada GI PT. PLN Dompu

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana

Disahkan oleh:

Pembimbing,

Ir. Budi Yanto Husodo, S.T., M.Sc.
NUPTK : 1044747648130173

Jakarta, 04 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik	Kaprodi S1 Teknik Elektro
Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.	**Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc.**
NUPTK: 6639750651230132	**NUPTK: 2146770671130403**

lib.mercubuana.ac.id

KATAPENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan FakultasTeknik
3. Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, ST., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
4. Ir. Budi Yanto Husodo, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Bapak senantiasa diberikan kesehatan dan kemudahan dalam menjalankan segala aktivitas.
5. Kedua orang tua saya, Bapak Ikhwayuddin dan Ibu Erna Susilawati, yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, dan pengorbanan tanpa henti. Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan kepada saya dalam setiap keadaan. Kata terima kasih rasanya tidak akan pernah cukup untuk menggambarkan rasa syukur dan kebahagiaan saya atas segala hal yang telah diberikan. Semoga Bapak dan Ibu senantiasa diberikan umur panjang, kesehatan, dan kebahagiaan. Terima kasih juga kepada kedua adik saya yang turut memberikan dukungan dan pengorbanan selama saya menempuh pendidikan. Semoga kelak saya dapat memberikan kehidupan dan masa depan yang lebih baik untuk keluarga.
6. Teman-teman saya selama berada di Jakarta, khususnya Bu Lisa, teman kos, dan teman-teman kelas, yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta kebersamaan selama saya menjalani perkuliahan. Terima kasih telah membuat saya merasa bahwa menjalani kehidupan di Jakarta tidak sesulit yang saya bayangkan.
7. Teman-teman saya yang berada di Dompu, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga segala kebaikan dan doa yang telah diberikan kepada saya mendapatkan balasan yang berlipat ganda.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

lib.mercubuana.ac.id

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Wahyuningrum
NIM	:	41424120010
Fakultas/Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir	:	Analisis Usia Pakai Transformator 150/70 kV Akibat Pembebanan Dan Suhu Lingkungan Menggunakan Metode *Deep Learning-LSTM* Pada GI PT. PLN Dompu

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 04 Agustus 2026

Yang menyatakan,



(Wahyuningrum)

UNIVERSITAS MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

ANALISIS USIA PAKAI TRANSFORMATOR 150/70 KV AKIBAT PEMBEBANAN DAN SUHU LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE *DEEP LEARNING-LSTM* PADA GI PT. PLN DOMPU

WAHYUNINGRUM

ABSTRAK

Transformator merupakan komponen vital dalam sistem penyaluran tenaga listrik yang keandalannya dipengaruhi oleh pembebanan dan suhu lingkungan selama beroperasi. Peningkatan pembebanan menyebabkan kenaikan temperatur *hotspot*, sedangkan suhu lingkungan yang tinggi dapat mengurangi pelepasan panas dari transformator. Kondisi tersebut dapat mempercepat degradasi isolasi dan memengaruhi usia pakai transformator.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pembebanan dan suhu lingkungan terhadap usia pakai Transformator 150/70 kV 60 MVA pada Gardu Induk PT. PLN Dompu serta melakukan peramalan pembebanan menggunakan *Deep Learning Long Short-Term Memory* (LSTM). Data yang digunakan merupakan data historis pembebanan dan suhu lingkungan periode Mei 2025 hingga Mei 2026 sebanyak 7.108 data per jam yang diperoleh dari PT. PLN Dompu dan BMKG. Parameter termal berupa temperatur *hotspot*, *Factor Accelerated Aging* (FAA), *Equivalent Aging Factor* (FEQA), dan *Loss of Life* (%LOL) dihitung berdasarkan IEEE C57.91-2011. Model LSTM menggunakan lima variabel masukan, yaitu persentase pembebanan, suhu lingkungan, jam, hari, dan bulan, dengan *window size* 240 jam. Model LSTM kemudian dibandingkan dengan Regresi Linear. Selain itu, dilakukan skenario dummy dengan pembebanan tinggi (>80%) untuk melihat respons parameter termal terhadap peningkatan beban.

Hasil penelitian menunjukkan rata-rata pembebanan historis sebesar 18,23% dengan temperatur *hotspot* rata-rata 42,53°C. Model LSTM menghasilkan MAE sebesar 2,5767, RMSE 3,5542, dan R^2 0,6586. Hasil *forecasting* periode 2026–2029 menunjukkan pembebanan meningkat dari sekitar 21,6% menjadi 22,5%, tetapi masih jauh di bawah kapasitas nominal transformator. Pada skenario dummy, rata-rata pembebanan mencapai 90,99%, temperatur *hotspot* 91,84°C, dan %LOL akhir 4,1%, dengan sisa umur 19,7 tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan dapat mempercepat penuaan isolasi secara signifikan.

Kata kunci: transformator daya, usia pakai transformator, pembebanan, suhu lingkungan, LSTM, IEEE C57.91, *Loss of Life*

lib.mercubuana.ac.id

ANALYSIS OF THE SERVICE LIFE OF A 150/70 kV TRANSFORMER DUE TO LOADING AND AMBIENT TEMPERATURE USING DEEP LEARNING–LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM) AT PT. PLN DOMPU SUBSTATION

WAHYUNINGRUM

ABSTRACT

Transformers are vital components in electric power systems, whose reliability is influenced by operating load and ambient temperature. Increased loading causes a rise in winding hotspot temperature, while high ambient temperature can reduce heat dissipation from the transformer. These conditions can accelerate insulation degradation and affect transformer service life.

This study aims to analyze the effect of transformer loading and ambient temperature on the service life of a 150/70 kV, 60 MVA Transformer at the PT. PLN Dompu Substation and to perform load forecasting using Deep Learning Long Short-Term Memory (LSTM). The data consist of historical transformer loading and ambient temperature data from May 2025 to May 2026, comprising 7,108 hourly records obtained from PT. PLN Dompu and BMKG. Thermal parameters, including hotspot temperature, Factor Accelerated Aging (FAA), Equivalent Aging Factor (FEQA), and Loss of Life (%LOL), were calculated based on IEEE C57.91-2011. The LSTM model uses five input variables: loading percentage, ambient temperature, hour, day, and month, with a window size of 240 hours. The LSTM model was then compared with Linear Regression. In addition, a dummy scenario with high loading (>80%) was conducted to evaluate the response of the thermal parameters to increased loading.

The results show that the historical average transformer loading was 18.23%, with an average hotspot temperature of 42.53°C. The LSTM model achieved an MAE of 2.5767, RMSE of 3.5542, and R^2 of 0.6586. The forecasting results for 2026–2029 show that loading increased from approximately 21.6% to 22.5%, while remaining well below the transformer's nominal capacity. In the dummy scenario, the average loading reached 90.99%, the hotspot temperature reached 91.84°C, and the final %LOL reached 4.1%, with an estimated remaining service life of 19.7 years. These results indicate that increased loading can significantly accelerate transformer insulation aging.

***Keywords**: power transformer, transformer service life, loading, ambient temperature, Long Short-Term Memory (LSTM), IEEE C57.91, Loss of Life.*

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL/COVER 0
HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI ii
SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY* iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
KATAPENGANTAR v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSTORI UMB vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
BAB I 1
PENDAHLUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 4
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Transformator Daya 7
2.2.1 Jenis dan Klasifikasi Transformator 9
2.2.2 Komponen Transformator 11

lib.mercubuana.ac.id

2.2.3 Rugi-Rugi Transformator 14
2.2 Usia Transformator 16
2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Usia Transformator 17
2.3 Deep Learning 25
2.3.1. Artificial Neural network (ANN) 26
2.3.2. Recurrent Neural Network (RNN) 28
2.3.3. Long Short Term-Memory (LSTM) 29
2.3.4. Proses Pelatihan 32
2.3.5 Evaluasi Modul 33
BAB III 35
METODE PENELITIAN 35
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian 35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 36
3.3 Jenis dan Sumber Data 36
3.4 Variabel Penelitian 37
3.5 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir 37
3.6 Analisis Data 40
3.7 Spesifikasi Transformator 42
3.8 Proses Pelatihan Model 44
3.9 Evaluasi Model 44
3.10 Skenario Dummy Data 44
3.11 Hasil yang Diharapkan 45
3.12 Time Table Penelitian 45
BAB IV HASIL DANPEMBAHASAN 46
4.1 Pengolahan Data Historis 46

UNIVERSITAS MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

4.1.1 Hasil Pemrosesan Data 46
4.1.2 Presentase Pembebanan Transformator 48
4.1.3 Data Suhu Lingkungan 50
4.2 Hasil Perhitungan Parameter Termal dari Data Historis 51
4.2.1 Hotspot 51
4.2.2 Faktor Percepatan Penuaan (FAA) 54
4.2.3 Persentase Loss of Life (%LOL) Kumulatif 55
4.3 Hasil Pelatihan Model LSTM 56
4.3.1 Pengujian Windows Size 56
4.3.2 Pengujian Arsitektur Model LSTM 57
4.3.3 Arsitektur Model LSTM 58
4.3.4 Hasil Training Model 59
4.4 Hasil Evalusi Model 60
4.4.1 Metrik Evaluasi 60
4.4.2 Analisi Hasil Perbanding Nilai aktual, Model LSTM dan Regresi Linear 61
4.5 Peramalan Pembebanan Transformator 62
4.6 Analisis dengan Dummy Data (Pembebanan >80%) 67
4.6.1 Parameter Termal Skenario Dummy 68
4.6.2 Perbandingan Kondisi Aktual, Forecast LSTM, dan Skenario Dummy 69
4.7 Pembahasan 72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 75
5.1 KESIMPULAN 75
5.2 SARAN 76
DAFTAR PUSTAKA 77
LAMPIRAN 79

UNIVERSITAS MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya 8
Gambar 2.2 Lilitan Trafo Step-Up 9
Gambar 2. 3 Lilitan Trafo Step-Down 10
Gambar 2. 4 Inti Besi 12
Gambar 2. 5 Kumparan 13
Gambar 2. 6 Kertas Isolasi 14
Gambar 2. 7 Hubungan Pembebanan dan HotSpot Temperature 18
Gambar 2. 8 Grafik hubungan suhu lingkungan terhadap susut umur transformator 23
Gambar 2. 9 Arsitektur ANN (Raj & Kos, 2023) 27
Gambar 2. 10 Arsitektur LSTM 31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir 38
Gambar 3. 2 Diagram Alir Analisi Data 40
Gambar 3. 3 Transformators 43
Gambar 3. 4 Nameplate Transformator 43
Gambar 4. 1 Presentasi Pembebanan Trafo 48
Gambar 4. 2 Rata-rata Pembebanan Bulanan 49
Gambar 4. 3 Suhu rata-rata 50
Gambar 4. 4 Grafik Suhu Hotspot 52
Gambar 4. 5 Scatter Plot Suhu Lingkungan vs Hotspot 53
Gambar 4. 6 Grafik Faktor Percepatan Penuaan (FAA) 54
Gambar 4. 7 Equivalent Aging Factor (FEQA 55
Gambar 4. 8 Grafik Akumulasi Persentase Loss of Life 56
Gambar 4. 9 Arsitektur LSTM 59
Gambar 4. 10 Kurva Training Loss vs Validation Loss Model LSTM 60
Gambar 4. 11 Perbandingan Prediksi LSTM, Regresi Linear, dan Nilai Aktual 62
Gambar 4. 12 Hasil PeramalanPola Pembebanan Transformator 1 Tahun 63
Gambar 4. 13 Forecast Pembebanan Transformator 2026-2029 63
Gambar 4. 14 Forecast Suhu Hotspot 64
Gambar 4. 15 Forecast FAA 65
Gambar 4. 16 Forecast FEQA 65
Gambar 4. 17 Forecast % LOL Kumulatif 66
Gambar 4. 18 Pola Pembebanan hasil peramalan dengan Skenario Dummy 67
Gambar 4. 19 Loss Of Life (%) dengan Skenario Dummy 68
Gambar 4. 20 Perbandingan Pembebanan 69
Gambar 4. 21 Perbanding Hotspot 70
Gambar 4. 22 Perbandingan %LOL 70
Gambar 4. 23 Sisa Umur Transformator 71

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 6
Tabel 2. 2 Parameter Kadar Air Minyak Transformator berdasarkan IEC 60422 24
Tabel 3. 1 Jenis Data 36
Tabel 3. 2 Spesifikasi Transformator 43
Tabel 3. 3 Time Table Penelitian 45
Tabel 4. 1 Jumlah Data 47
Tabel 4. 2 Statistik deskriptif pembebanan historis 48
Tabel 4. 3 Statistik Suhu Lingkungan historis 50
Tabel 4. 4 Statistik Deskriptif Suhu Hotspot 51
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Korelasi Pearson 53
Tabel 4. 6 Statistik Deskriptif FAA 54
Tabel 4. 7 Hasil Pengujiam Windows Size 57
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Arsitektur LSTM 58
Tabel 4. 9 Arsitektur Model LSTM 58
Tabel 4. 10 Hasil Matrik Evaluasi Model LSTM vs Regresi Linear 61
Tabel 4. 11 Hasil Forecast 3 Tahun 66
Tabel 4. 12 Parameter Termal Skenario Dummy 68
Tabel 4. 13 Perbandingan Parameter Data Historis, Forecast LSTM, dan Skenario Dummy. 72

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id