

SKRIPSI
PREDIKSI *THERMAL AGING* DAN ESTIMASI SISA UMUR ISOLASI
TRANSFORMATOR BERBASIS RANDOM FOREST REGRESSION
UNTUK MENDUKUNG *PREVENTIVE MAINTENANCE*



Dipersiapkan dan Disusun Oleh
ABDI MARLIZEN
132022046

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026

SKRIPSI
PREDIKSI THERMAL AGING DAN ESTIMASI SISA UMUR
ISOLASI TRANSFORMATOR BERBASIS RANDOM FOREST
REGRESSION UNTUK MENDUKUNG PREVENTIVE
MAINTENANCE

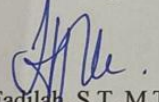


Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
22 agustus 2026

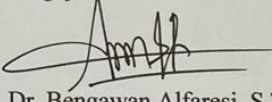
Dipersiapkan dan Disusun Oleh
Abdi Marlizen

Susunan Dewan Penguji

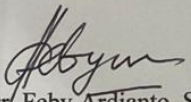
Pembimbing 1


Fadilah, S.T., M.T.
NIDN. 0215089003

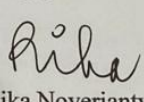
Penguji 1


Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T.,
NIDN. 0205118504

Pembimbing 2


Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN. 0207038101

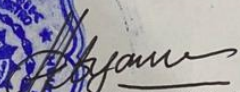
Penguji 2


Rika Noverianty, S.T., M.T
NIDN. 0214117504

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik


H. A. Jumaidi, M.T
NIDN. 0202026502

Menyetujui
Ketua Program Studi Teknik Elektro


Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN. 0207038101

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Palembang, 22 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Abdi Marlizen

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya, dan sesungguhnya usahanya itu kelak akan diperlihatkan.”

(QS. An-Najm : 39-40)

“Setiap proses memiliki waktunya, setiap usaha akan menemukan hasilnya.”

KATA PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, karya sederhana ini saya persembahkan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa

Syukur alhamdulillah atas segala rahmat, kesehatan, kemudahan, dan kekuatan yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan dan skripsi ini dengan baik. Terima kasih atas setiap jalan yang dibukakan dan setiap proses yang mengajarkan saya untuk terus berusaha dan tidak mudah menyerah.

2. Untuk Ibu Saya Tercinta, Kurnia Wantiy

Dengan penuh rasa cinta, saya mempersembahkan skripsi ini untuk seseorang yang selalu memiliki tempat paling istimewa dalam setiap perjalanan hidup saya. Ibu, terima kasih karena tidak pernah berhenti memberikan perhatian, semangat, dan doa sejak saya memulai pendidikan hingga akhirnya sampai pada titik ini. Terima kasih untuk kesabaran Ibu dalam menghadapi segala kekurangan dan kesalahan saya, untuk nasihat yang selalu diberikan ketika saya mulai kehilangan arah, serta untuk kasih sayang yang tetap sama dalam keadaan apa pun. Ada banyak hal yang mungkin tidak pernah mampu saya ungkapkan secara langsung, tetapi saya ingin Ibu tahu bahwa setiap dukungan dan doa yang Ibu berikan memiliki arti yang sangat besar bagi saya. Ketika perjalanan ini terasa sulit, mengingat perjuangan dan harapan Ibu menjadi salah satu alasan bagi saya untuk kembali bangkit dan menyelesaikannya. Skripsi ini bukan hanya tentang hasil dari proses pendidikan saya, tetapi juga menjadi bagian dari perjalanan dan doa Ibu yang selalu menyertai saya. Semoga Allah memberikan Ibu kesehatan, kebahagiaan, dan

umur yang panjang, sehingga saya masih memiliki banyak kesempatan untuk membahagiakan dan membalas segala kebaikan Ibu.

3. Untuk Bapak Saya Tercinta Abdul Sahilin

Dengan penuh rasa syukur, saya mempersembahkan skripsi ini untuk sosok yang selalu berusaha menjadi kuat demi keluarganya, bahkan ketika banyak hal harus dipendam sendiri. Terima kasih atas segala usaha yang telah Bapak lakukan untuk mengantarkan saya sampai pada tahap ini. Terima kasih karena selalu berusaha memenuhi kebutuhan saya, mendukung pendidikan saya, serta memberikan kebebasan kepada saya untuk mengejar apa yang menjadi cita-cita. Dari Bapak saya belajar bahwa tanggung jawab bukan hanya tentang perkataan, tetapi tentang bagaimana seseorang tetap berusaha memberikan yang terbaik untuk keluarganya. Mungkin tidak semua perjuangan Bapak dapat saya lihat dan mungkin tidak semua pengorbanan Bapak pernah saya ketahui, tetapi saya menyadari bahwa banyak hal yang saya capai hari ini tidak terlepas dari peran dan dukungan Bapak. Penyelesaian skripsi ini saya persembahkan sebagai salah satu bentuk rasa terima kasih saya kepada Bapak. Semoga keberhasilan kecil ini dapat menjadi kebahagiaan dan kebanggaan bagi Bapak, serta menjadi awal bagi saya untuk dapat memberikan kehidupan yang lebih baik kepada keluarga.

4. Untuk Ayuk Tercinta, Silva Nia Safitra dan Wela Romadhona

Dengan penuh rasa cinta, saya mempersembahkan skripsi ini untuk kedua saudari saya yang tercinta, terima kasih telah menjadi bagian dari keluarga yang selalu memberikan dukungan, perhatian, dan semangat. Terima kasih atas segala nasihat, terutama pertanyaan sudah bab berapa? wkwk, terima kasih atas bantuan serta kebersamaan yang telah diberikan selama ini. Kehadiran kalian menjadi salah satu bagian penting dalam perjalanan hidup saya. Semoga kita selalu dapat saling mendukung dan membanggakan satu sama lain dalam setiap langkah kehidupan.

5. Kepada Yuni Astuti

Sosok yang telah kebersamai penulis sejak tahun 2019 hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi seseorang yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam setiap proses, sejak awal perkuliahan hingga penulis dapat

menyelesaikan pendidikan di Universitas Muhammadiyah Palembang. Mengenalmu merupakan salah satu hal terbaik dalam perjalanan hidup penulis. Semoga kita senantiasa ditakdirkan untuk terus bersama, saling mendukung, dan kebersamaian dalam setiap langkah kehidupan ke depannya, kehadiran dan dukunganmu menjadi bagian yang sangat berarti dalam perjalanan ini.

6. Kepada Sahabat Dan Teman Seperjuangan

Untuk Rahmat Januarsyah dan Renaldi Terima kasih telah menjadi sahabat dan teman seperjuangan selama masa perkuliahan. Terima kasih untuk setiap bantuan, diskusi, canda tawa, dan paksaan untuk mengerjakan skripsi bersama-sama sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala perjuangan dan kebersamaan selama masa kuliah menjadi kenangan baik yang akan selalu kita ingat.

7. Almamater Tercinta

Terima kasih telah menjadi tempat untuk menimba ilmu, mendapatkan pengalaman, serta belajar menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama menempuh pendidikan dapat menjadi bekal untuk melangkah ke tahap kehidupan berikutnya dan memberikan manfaat bagi banyak orang.

8. Diri Saya Sendiri

Terima kasih telah bertahan dan menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih telah melewati berbagai proses, rasa lelah, dan tantangan hingga sampai pada titik ini. Skripsi ini menjadi bukti bahwa dengan usaha, doa, dan kesabaran, setiap proses pada akhirnya dapat diselesaikan.

Semoga pencapaian ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik dan menjadi pengingat bahwa setiap usaha yang dilakukan dengan sungguh-sungguh akan selalu memiliki arti.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam mudah-mudahan tetap selalu dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Proposal Skripsi yang berjudul “**PREDIKSI *THERMAL AGING* DAN ESTIMASI SISA UMUR ISOLASI TRANSFORMATOR BERBASIS RANDOM FOREST REGRESSION UNTUK Mendukung *PREVENTIVE MAINTENANCE*”**”.

Penyusunan proposal skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar S-1 atau Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang. Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini berkat bimbingan, pengarahan dan nasehat yang tidak ternilai harganya. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Fadilah S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 1
2. Dr. Feby Ardianto S.T., M.Cs selaku Dosen Pembimbing 2

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang berperan dalam membantu penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Bapak Prof. Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak dan Ibu Dosen pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang.
5. Bapak dan Ibu Staff dan Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
6. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang tak kenal lelah memberikan dorongan, motivasi dan doa untuk keberhasilanku dalam penyelesaian skripsi ini.

7. Keluarga, sahabat, dan orang - orang yang sangat saya sayangi yang telah memberikan bantuan dan dukungan serta motivasi.
8. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammdiyah Palembang dan semua pihak yang banyak membantu penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT. Membalas budi baik kalian yang telah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini, semoga amal ibadahnya diterima dan mendapat balasan dari-Nya. Semoga bimbingan, saran. Partisipasi dan bahan yang telah diberikan akan bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Palembang, 22 Agustus 2026

Penulis

Abdi Marlizen

ABSTRAK

Transformator daya merupakan peralatan penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Perubahan pembebanan dapat meningkatkan temperatur transformator sehingga memengaruhi thermal aging dan umur isolasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap kondisi termal, menghitung tingkat penuaan dan Loss of Life (LOL), serta menerapkan Random Forest Regression untuk memprediksi temperatur hotspot. Penelitian dilakukan pada transformator daya di Gardu Induk Gandus, Kota Palembang, menggunakan data operasional selama satu tahun. Perhitungan thermal aging mengacu pada IEEE C57.91 untuk memperoleh temperatur hotspot, percepatan penuaan, dan LOL. Hasil menunjukkan pembebanan maksimum mencapai 81,63% atau 48,98 MVA dengan akumulasi LOL sebesar 0,0476%. Berdasarkan umur aktual transformator sekitar 10 tahun dan umur referensi isolasi 20,55 tahun, diperoleh estimasi sisa umur ekuivalen sebesar 10,54 tahun. Pemodelan Random Forest menggunakan 6.336 data training dan 1.585 data testing menghasilkan MAE 0,0531 °C, RMSE 0,9941 °C, MAPE 0,0897%, dan R^2 0,6660. Temperatur top-oil menjadi parameter paling dominan dengan feature importance 90,15%. Hasil penelitian menunjukkan thermal aging relatif rendah dan integrasi Random Forest dapat mendukung pemantauan kondisi serta preventive maintenance transformator.

Kata kunci: *Thermal Aging, Transformator, Random Forest Regression, Preventive Maintenance*

ABSTRACT

Power transformers are essential equipment for maintaining the continuity of electrical energy transmission. Variations in loading can increase transformer temperature, thereby affecting thermal aging and insulation life. This study aims to analyze the effect of loading variations on thermal conditions, calculate the aging rate and Loss of Life (LOL), and apply Random Forest Regression to predict hotspot temperature. The study was conducted on a power transformer at Gandus Substation, Palembang City, using one year of operational data. Thermal aging calculations were based on IEEE C57.91 to determine hotspot temperature, aging acceleration, and LOL. The results showed that the maximum loading reached 81.63%, equivalent to 48.98 MVA, with an accumulated LOL of 0.0476%. Based on the actual transformer age of approximately 10 years and a reference insulation life of 20.55 years, the estimated equivalent remaining life was 10.54 years. The Random Forest model, using 6,336 training data points and 1,585 testing data points, achieved an MAE of 0.0531 °C, RMSE of 0.9941 °C, MAPE of 0.0897%, and R^2 of 0.6660. Top-oil temperature was identified as the most dominant parameter, with a feature importance of 90.15%. The results indicate that the thermal aging of the transformer was relatively low during the observation period, while the integration of Random Forest can support condition monitoring and preventive maintenance of power transformers.

Keywords: *Thermal Aging, Power Transformer, Random Forest Regression, Preventive Maintenance*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Transformator	5
2.2 Transformator Daya	5
2.3 Prinsip Kerja Transformator.....	7
2.4 Bagian-bagian Transformator dan Fungsinya	7
2.5.1 Inti Besi.....	7
2.5.2 Kumparan Belitan	8
2.5.3 Bushing	9
2.5.4 Minyak Isolasi Transformator	10
2.5.5 Tangki Konservator	10
2.6 Pembebanan Transformator	11
2.6.1 Arus Beban	12
2.6.2 Daya Semu.....	12
2.6.3 Loading Transformator	13
2.7 Pengaruh Kenaikan Temperature Terhadap Transformator	13
2.8 Temperature Hotspot Transformator.....	14
2.9 Temperature Top Oil	14

2.10 <i>Thermal Aging</i> Transformator.....	15
2.10.1 <i>Aging Acceleration Factor</i> (FAA).....	15
2.10.2 <i>Equivalent Aging Factor</i> (FEQA).....	16
2.10.3 <i>Loss Of Life</i>	16
2.10.4 Menghitung Sisa Umur Transformator.....	17
2.11 Random Forest Regression.....	18
2.11.1 Komponen Random Forest.....	19
2.11.2 Evaluasi Model Random Forest.....	21
2.11.2 Feature Importance	22
2.12 <i>Preventive Maintenance</i>	23
2.12.1 Hubungan Estimasi Sisa Umur Isolasi dengan <i>Preventive Maintenance</i>	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Flowchart Penelitian.....	29
3.3 Alat dan Bahan	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Perhitungan Thermal Aging	34
4.2 Data Hasil Pengukuran	38
4.3 interpretasi Thermal Aging	40
4.4 Pemodelan Thermal Aging Menggunakan Random Forest	41
4.5 Hasil Prediksi Temperatur Hotspot	41
4.6 Perhitungan FAA Berdasarkan Hotspot Random Forest	42
4.5.1 Analisis Pengaruh Pembebanan terhadap Kinerja Random Forest	43
4.5.2 Analisis Feature Importance	44
4.5.3 Evaluasi Klasifikasi Kondisi Thermal	45
4.7 Perhitungan Loss of Life Berdasarkan Random Forest.....	45
4.8 Pembahasan Hasil Random Forest	47
4.9 Perbandingan Model Thermal dan Random Forest.....	47
4.10 Implikasi terhadap Preventive Maintenance	48
4.11 Analisa Keseluruhan.....	49
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51

5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator daya.....	8
Gambar 2.2 Inti Besi Pada Transformator.....	6
Gambar 2.3 Bushing Transformator.....	9
Gambar 2.4 Tangki Konservator Trafo.....	11
Gambar 2.5 <i>Random Forest</i>	18
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Nameplate Travo 60 MVA GI Gandus.....	31
Gambar 3.3 Tampilan awal random forest.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Susut Umur Akibat Kenaikan Suhu	17
Tabel 2.2 Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	25
Tabel 3.1 Data Namplate Trafo 60MVA	32
Tabel 4.1 Data Sampel Perhitungan Thermal Aging.....	34
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Thermal Aging.....	37
Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan	39
Tabel 4.4 Hasil Evaluasi Random Forest	42
Tabel 4.5 Kinerja Random Forest Berdasarkan Loading.....	44
Tabel 4.6 Feature Importance Random Forest.....	45
Tabel 4.7 Perbandingan Status Thermal.....	45
Tabel 4.8 Perbandingan Model Thermal Dan Random Forest.....	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama yang mendukung berbagai aktivitas masyarakat, baik di sektor rumah tangga, perdagangan, maupun industri. Seiring pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, dan kemajuan teknologi (Habibah et al., 2022), kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat. Kondisi ini menuntut tersedianya sistem tenaga listrik yang andal dan stabil agar pasokan listrik dapat disalurkan secara berkelanjutan tanpa gangguan. Dalam operasi sistem tenaga listrik, keandalan dan kestabilan sistem sangat penting agar dapat memberi kenyamanan dalam pelayanan kepada konsumen. Hal ini dapat terpenuhi dengan memperhatikan kondisi dari peralatan-peralatan tenaga listrik yang ada. Salah satu peralatan yang sangat penting dalam operasi sistem tenaga listrik adalah transformator (Gultom P et al., 2017).

Transformator daya merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan listrik dari satu level ke level lainnya melalui prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi. Transformator daya berperan penting dalam proses penyaluran energi listrik, baik untuk menaikkan tegangan (step-up) pada sisi pembangkit maupun menurunkan tegangan (step-down) pada gardu induk sebelum disalurkan ke jaringan distribusi. Keandalan transformator daya sangat menentukan kontinuitas dan kualitas penyaluran energi listrik karena peralatan ini bekerja secara terus-menerus dengan menerima variasi pembebanan sesuai kebutuhan system (Ridwan et al., 2022).

Di PT PLN (Persero) khususnya di Gardu Induk Gandus Kota Palembang, variasi pembebanan transformator terjadi seiring meningkatnya konsumsi energi listrik. Selain faktor pembebanan, kondisi temperatur lingkungan, kualitas minyak isolasi, serta sistem pendingin transformator juga mempengaruhi proses penuaan transformator. Penuaan isolasi yang berlangsung secara terus-menerus dapat menyebabkan penurunan kinerja transformator dan meningkatkan risiko gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik (Prasojo et al., 2022).

Penelitian Maruf & Primadiyono (2021) menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan dan temperatur transformator memperbesar temperatur hotspot dan mempercepat penuaan isolasi. Hasilnya, Transformator 1 memiliki hotspot $92,66^{\circ}\text{C}$ dengan sisa umur 11,1 tahun, sedangkan Transformator 2 memiliki hotspot $87,62^{\circ}\text{C}$ dengan sisa umur 19,3 tahun. Wisnu Wardhana et al. (2024) menunjukkan bahwa pembebanan dan temperatur juga berpengaruh terhadap penurunan umur transformator. Pada beban tertinggi 17,2271 MVA, temperatur hotspot mencapai $73,60^{\circ}\text{C}$ dengan susut umur 2,6164 jam/hari dan perkiraan sisa umur 6,1153 tahun.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis susut umur dan memperkirakan sisa umur transformator distribusi berdasarkan pengaruh pembebanan dan temperatur menggunakan metode *thermal aging*, serta menerapkan metode Random Forest untuk memprediksi sisa umur transformator secara lebih akurat berdasarkan data historis pembebanan dan temperatur operasi transformator. Metode penelitian meliputi pengumpulan data pembebanan, temperatur minyak, kumparan, dan lingkungan. Data diolah menggunakan metode *thermal aging* untuk menghitung temperatur hotspot, percepatan penuaan, susut umur, dan sisa umur transformator. Hasilnya digunakan sebagai input Random Forest untuk memprediksi sisa umur dan dievaluasi berdasarkan akurasi model.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya suatu model prediksi umur transformator yang lebih akurat dan efektif dengan menggabungkan metode *thermal aging* dan algoritma Random Forest. Model tersebut diharapkan mampu menganalisis pengaruh temperatur serta pembebanan transformator terhadap percepatan penuaan isolasi, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan sisa umur transformator secara lebih optimal. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat membantu pihak utilitas listrik dalam melakukan pemeliharaan transformator secara preventif, mengurangi risiko kerusakan, serta meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem tenaga listrik.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap kenaikan temperatur hotspot transformator berdasarkan metode *thermal aging*
2. Untuk memprediksi umur transformator daya dengan menggunakan pendekatan *thermal aging* dan metode random forest
3. Mengembangkan dan mengevaluasi model Random Forest Regression untuk mengestimasi sisa umur isolasi transformator berdasarkan parameter thermal aging sebagai dasar informasi dalam mendukung *preventive maintenance*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada analisis transformator daya di Gardu Induk Gandus Kota Palembang dengan menggunakan data pembebanan, temperatur operasi, dan spesifikasi transformator yang tersedia dari pihak PLN. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan terhadap kenaikan temperatur hotspot menggunakan pendekatan *thermal aging*. Prediksi umur transformator dilakukan menggunakan metode Random Forest dengan parameter yang diperoleh dari hasil analisis *thermal aging* dan data pembebanan transformator. Penelitian ini hanya membahas transformator daya serta tidak mencakup analisis gangguan eksternal, kualitas minyak isolasi, kerusakan mekanis, maupun faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi umur transformator.

1.4 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian mengenai prediksi *thermal aging* dan estimasi sisa umur isolasi transformator berbasis *Random Forest Regression* untuk mendukung *preventive maintenance*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas landasan teori dan hasil studi literatur serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, meliputi transformator, sistem isolasi, pembebanan, temperatur *hotspot*, *thermal aging*, *loss of life*, standar IEEE C57.91, *Random Forest Regression*, serta metode evaluasi MAE, MSE, RMSE, dan R^2 .

BAB 3 METODE PENELITIAN

Menjelaskan tempat dan waktu penelitian, flowchart penelitian, serta jenis alat bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengolahan data, perhitungan *thermal aging*, hasil prediksi *Random Forest Regression*, estimasi sisa umur isolasi transformator, evaluasi model menggunakan MAE, MSE, RMSE, dan R^2 , serta pembahasan hasil penelitian dalam mendukung *preventive maintenance*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian mengenai *thermal aging* dan estimasi sisa umur isolasi transformator serta saran untuk pengembangan penelitian dan penerapan *preventive maintenance* pada transformator.

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Tholib, M. kom. (2023). *Implementasi Algoritma Machine Learning Berbasis WEB dengan Framework Streamlit* (M. kom Moh Ainol Yaqin, Ed.; 1st ed.). Pustaka Nurja.
- Alfaqih, M., Firnanda, A., Salman, M., Arwangi, A., & Mustika, R. (2023). Study Of The Effect Of The Number Of Coils On Voltage And Current Value. *Journal of Educational Engineering and Environment*, 02 (1).
- Asfari Hariz Santoso, Ernanda Rizka, & Harrij Mukti K. (2023). Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN(PERSERO) UP3 Malang. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(3), 121–126. <https://doi.org/10.33795/elposys.v9i3.645>
- Borah, A. A., Begum, R. N. A., & Goswami, B. (2024). Health Assessment and Lifespan Estimation for Power Transformer using Machine Learning. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 14(4), 94–102. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.14.04.2023.p14812>
- Efryansah, R. A., & Aini, Z. (2023). Analisis Kualitas Tahanan Isolasi Pada Transformator Dengan Preventive Maintenance di Gardu Induk Garuda Sakti. *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 8(3), 224. <https://doi.org/10.36722/sst.v8i3.1864>
- Feby Ardianto, Yosi Apriani, Muhammad Alvin Pratama, & Eko Ariyanto. (2024). Pemodelan Efisiensi Energi Panel Surya Berdasarkan Variasi Suhu Dengan Algoritma Random Forest . *Jurnal Ampere*, 9(2), 150–161. <https://doi.org/DOI:http://doi.org/10.31851/ampere>
- Gan, L. (2024). Exploring Transformer Life Forecasting through an In-Depth Analysis Utilizing the Random Forest Algorithm in Research and Development. *IJIIS: International Journal of Informatics and Information Systems*, 7(1), 08–15. <https://doi.org/10.47738/ijiis.v7i1.192>
- Gardijan, R., & Keller, A. (2022). Transformer bushing – a part of measurement system. *Journal of Energy*, 61, 149–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.37798/2012611-4247>
- Gera Nugraha, & Irwanto, I. (2025). Analisis Efisiensi Trafo 20 kV/150 kV GT pada PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan Unit 1 dan 2 dalam Pengaruh Beban. *Jurnal Elektronika Dan Teknik Informatika Terapan (JENTIK)*, 3(2), 01–11. <https://doi.org/10.59061/jentik.v3i2.1080>

- Gultom P, Danial, & Rajagukguk, M. (2017). Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 kV Akibat Pembebanan Lebih Di PT PLN (PERSERO) Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2 (1), 1–7. <https://media.neliti.com/media/publications/191221-ID-studi-susut-umur-transformator-distribus.pdf>
- Habibah, U., Muhammad, M. A., & Randi, A. (2022). Forecasting the Electricity Need for the Household Sector PT. PLN (Persero) Rayon Lhoksukon with Time Series Linear Regression. *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology*, 2(1), 26–30.
- Iwaniuk, M., Jarosz, M., Borycki, B., Jezierski, B., Cwalina, J., Kaźmierczak, S., & Mańdziuk, J. (2025). *The Impact of Bootstrap Sampling Rate on Random Forest Performance in Regression Tasks*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.13952> Focustolearn moreSubmissionhistory
- Janny Olly Wuwung. (2010). Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis terendam Minyak. *Tekno*, 8(52), 52.
- Kumar, S., Islam, T., & Raina, K. K. (2021). A moisture-in-breather model for transformer health monitoring. *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443326>
- Li, L., Zhu, L., ZHANG, F., Chen, D., Du, Z., & Wang, M. H. ng. (2024). *Manufacturing Technology and Quality Control of Large Transformer Silicon Steel Sheet Core*. 71–74.
- M Faqih, Angga Firnanda, & Mohammad Salman Aji Arwangi. (2023). Study Of The Effect Of The Number Of Coils On Voltage And Current Value. *Journal of Educational Engineering and Environment*, 1(2), 12–16. <https://doi.org/10.36526/jeee.v1i2.2814>
- Maruf, A., & Primadiyono, Y. (2021). Analisis Pengaruh Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 MVA Unit 1 dan 2 Di GI 150 kV Kalisari. *Edu ElektriKA Journal*, 10(1), 19–24.
- Mustari, M., Kurniawan, R., & Ramlan, R. (2024). Analisis Efisiensi Transformator Dalam Pembangkit Listrik Di PT. PLN Indonesia Power UDK Keramasan. *Jurnal Penelitian Sains*, 26(2), 137. <https://doi.org/10.56064/jps.v26i2.944>
- Pambudi, S. (2023). Analisa Kinerja Operasional dan Temperature Terhadap Life Time Transformator 370 MVA. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4, 91–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.36418/jist.v4i1.572>

- Prasojo, R. A., Duanaputri, R., Apriliasari, J., Dini, R. A., & Mahmudah, D. S. (2022). Review pengaruh penetrasi photovoltaic terhadap loss of life dan kinerja transformator. *JURNAL ELTEK*, 20(2), 61–69. <https://doi.org/10.33795/eltek.v20i2.357>
- Ridwan, R., Kowaas, J. P., & Kembuan, D. E. (2022). Maintenance of 60 MVA power transformers in Pauh Limo Padang substation. *Nucleation and Atmospheric Aerosols*.
- Septiyanah, S., & Athalina, G. (2025). Implementasi Algoritma Random Forest Regression Dalam Prediksi Harga Laptop. *Jurnal Mnemonic*, 8(1), 70–73. <https://doi.org/10.36040/mnemonic.v8i1.12475>
- SPLN 17. (1979). *Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*. Perusahaan Umum Listrik Negara. <https://id.scribd.com/doc/200011768/SPLN-17-1979>
- Syafruddin, H., Supriyadi, & Maksum Pinem. (2021). Analysis of Mixing Oil (Diala B with S2-ZUI) for Cooling Systems Used in Power Transformers. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Wisnu Wardhana, Abdul Azis, & Yudi Irwansi. (2024a). Analisa Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan dan Temperatur di PT PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Palembang Gardu Induk Keramasan. *Jurnal Surya Energy*, 9(1), 46–57. <https://doi.org/10.32502/jse.v9i1.283>
- Wisnu Wardhana, Abdul Azis, & Yudi Irwansi. (2024b). Analisa Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan dan Temperatur di PT PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Palembang Gardu Induk Keramasan. *Jurnal Surya Energy*, 9(1), 46–57. <https://doi.org/10.32502/jse.v9i1.283>
- Zuhal. (2021). Bab 4 Transformator. In A. Ikapi (Ed.), *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya* (Pp. 43–44). Pt Gramedia Pustaka Utama. <https://id.scribd.com/document/405859452/Dasar-Teknik-Tenaga-Listrik-Zuhal-pdf#page=1>