

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di masa depan akan terus meningkat sehingga harus diantisipasi agar energi listrik dapat tersedia dalam jumlah dan kualitas yang baik. Menurut Rancangan Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) tahun 2023-2060 proyeksi kebutuhan listrik di Indonesia pada tahun 2023 sekitar 337 TWh dengan rata-rata pertumbuhan tenaga listrik sebesar 3,9% per-tahun [1]. Dalam hal ini, sistem tenaga listrik di Indonesia akan memiliki peran penting untuk mendistribusikan energi listrik di Indonesia.

Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi konsumen, diperlukan berbagai peralatan listrik. Berbagai peralatan listrik dihubungkan satu sama lain secara keseluruhan membentuk sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik merupakan interkoneksi sekumpulan pusat listrik dan Gardu Induk sebagai pusat beban yang dihubungkan oleh jaringan transmisi [2]. Salah satu perangkat penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator.

Transformator merupakan perangkat penting dalam sistem tenaga listrik yang berperan dalam mentransformasikan tegangan listrik dari satu tingkat ke tingkat lainnya. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi, transformator harus dapat beroperasi secara efisien dan andal [3]. Dengan demikian transformator mempunyai fungsi yang sangat penting, sehingga peralatan ini diusahakan untuk meminimalisir dari gangguan dan memiliki masa pakai yang lama [4].

Permasalahan pada transformator saat ini muncul karena peningkatan penggunaan listrik oleh konsumen dan peningkatan suhu minyak yang signifikan. Kendala ini menghasilkan beban berlebih atau *overload* pada transformator saat beroperasi dalam sistem distribusi. Jika kondisi beban berlebih berlanjut tanpa tindakan pencegahan atau perawatan, ketahanan isolasi pada komponen transformator dapat menurun akibat peningkatan suhu, yang pada akhirnya dapat memengaruhi umur pakai transformator [5]. Transformator yang digunakan di Indonesia didesain sesuai dengan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*). Standar IEC 60076-7 menetapkan masa pakai transformator selama

30 tahun[6]. Transformator mempunyai nilai beban yang bervariasi sehingga prediksi estimasi umur transformator perlu dilakukan untuk memastikan penggunaan transformator yang efisien dalam waktu yang lama sehingga dapat meminimalisir biaya perawatan pada transformator.

Prediksi estimasi umur transformator dilakukan untuk memastikan transformator dapat beroperasi secara efektif dan efisien dengan pembebanan yang tinggi dalam jangka waktu yang lama sehingga dapat meminimalisir biaya pemeliharaan dan perbaikan pada transformator [5]. Prediksi estimasi umur transformator atau susut umur transformator dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti regresi linear [7] dan *Long Short Term Memory* (LSTM) [5].

LSTM merupakan salah satu jenis *Recurrent Neural Network*. LSTM dapat memiliki kemampuan mempelajari data di mana dalam setiap *neuron* LSTM memiliki beberapa gerbang yang mengatur memori dari setiap *neuron* itu sendiri [8]. LSTM mampu memodelkan dan memahami pola dari data *time series*. Dengan demikian, penggunaan LSTM untuk mendapatkan hasil prediksi umur transformator diharapkan dapat membuat keputusan terkait kapan dan di mana perbaikan akan dilakukan. Keputusan tersebut dapat mengurangi biaya operasional dikarenakan dapat disusun rencana perbaikan yang lebih baik [9]. LSTM banyak digunakan untuk mengolah video, *text* dan data deret waktu [10]. Dalam penelitian lain, Algoritma LSTM dipakai untuk Memprediksi umur transformator dan hasilnya dibandingkan dengan algoritma lain seperti *Linear Regresion*, *Multilayer Perpection* dan *Gradient Boosting Regressor* menyimpulkan bahwa penggunaan LSTM mempunyai nilai yang lebih akurat dibanding algoritma lain dengan besar nilai RMSE=0,0004 dan nilai *Squared Correlation*=0,9690 [11].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penting untuk mengetahui sisa umur pada transformator dalam periode waktu tertentu. Pada penelitian ini digunakan metode *Long Short Term Memory* dalam menganalisis estimasi umur operasional transformator yang dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan tindakan perawatan dan pencegahan kerusakan pada transformator. Variabel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data beban dan suhu minyak transformator dari

tanggal 1 Januari 2019 sampai 16 Juli 2024 pada transformator Gardu Induk 150kV Cianjur dan hasil kinerja divalidasi dengan *Mean Squared Error* (MSE).

1.2 Kajian Riset Terdahulu

Untuk menunjukkan bahwa penelitian ini bebas dari unsur plagiat, akan diuraikan secara singkat mengenai penelitian sebelumnya tentang prediksi sisa umur transformator. Penelitian-penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Kajian riset terdahulu

No	JUDUL	PENELITI	TAHUN
1	Peramalan <i>Loss Of Life</i> Transformator Berdasarkan <i>Loading</i> dan <i>Temperature</i> Menggunakan <i>Deep Learning-LSTM</i> di Gardu Induk 150 KV Buduran	Anjar Novian dan Unit Three Kartini	2023
2	Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya 150 kV di PLTGU Keramasan Palembang	Deden Dendi, Abdul Aziz dan Perawati	2022
3	Algoritma <i>Deep Learning-LSTM</i> Untuk Memprediksi Umur Transformator	Ayu Ahadi Ningrum, dkk	2021
4	Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Penyulang Laha	Immanuel Latuny, dkk	2021
5	<i>Loss of Life Estimation of Distribution Transformers Considering Corrupted AMI Data Recovery and Field Verification</i>	Yuwei Shang, Wenchuan Wu, Senior Member, IEEE, Xu Huai , Jianbo Guo, Jian	2021

No	JUDUL	PENELITI	TAHUN
		Su, Wei Liu, Yu Huang, and Limei Zhou	
6	<i>Transformer hot spot temperature prediction based on basic operator information</i>	D.P. Rommel, D. Di Maio and T. Tinga	2021

Penelitian Anjar Novian dan Unit Three Kartini [5] melakukan prediksi *Loss of Life* Transformator di Gardu Induk 150 KV Buduran berdasarkan kondisi pembebanan dan temperatur pada tahun 2021 dan 2022 dengan menggunakan metode *Deep Learning-(Long Short Term Memory) LSTM*. Pengukuran kinerja *LSTM* dilakukan melalui *Mean Squared Error (MSE)* serta *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Hasil prediksi pada penelitian ini menunjukkan bahwa metode *LSTM* memiliki kinerja yang baik, dengan nilai *MSE* sebesar 0,0002 dan *RMSE* sebesar 0,014. Melalui metode ini, prediksi *loss of life* transformator untuk tahun 2023 diperoleh sebesar 17,89% atau setara dengan 0,1789 pu. Hasil studi ini menunjukkan bahwa metode *LSTM* dapat menghasilkan prediksi yang akurat dalam memprediksi *loss of life* transformator.

Penelitian Deden Dendi, Abdul Azis dan Perawati [12] menganalisis pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator. Penelitian ini dilakukan pada Transformator Daya 54 MVA PLTGU Keramasan. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa ketika pembebanan pada transformator meningkat, temperatur minyak transformator juga meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan laju penuaan termal. Peningkatan laju penuaan termal tersebut kemudian menyebabkan susut umur transformator menjadi lebih besar. Dengan memperhitungkan periode pemakaian selama 9 tahun, dari tahun 2012 hingga tahun 2021, perkiraan sisa umur Transformator Daya 54 MVA adalah sekitar 17,42 tahun. Data ini menggambarkan bahwa transformator mengalami proses penuaan yang signifikan, terutama ketika terpapar beban yang tinggi, dan hal ini dapat diukur melalui susut umur transformator.

Penelitian Ayu Ahadi Ningrum, dkk [11] memprediksi umur transformator untuk mencegah kerusakan secara dini. Data yang digunakan berasal dari 25 unit transformator. Analisis kinerja metode LSTM dievaluasi dengan menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *Squared Correlation* (SC). Selain LSTM, penelitian ini juga mencoba menerapkan Algoritma lainnya sebagai pembandingan seperti *Multilayer Perceptron*, *Linear Regression*, dan *Gradient Boosting Regressor*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa LSTM mencapai kinerja yang sangat baik setelah dilakukan pencarian komposisi data, seleksi fitur menggunakan algoritma KBest, dan variasi parameter. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Deep Learning-LSTM* memiliki kinerja yang sangat baik dibandingkan dengan tiga algoritma lainnya, dengan nilai RMSE sebesar 0,0004 dan nilai Squared Correlation sebesar 0,9690.

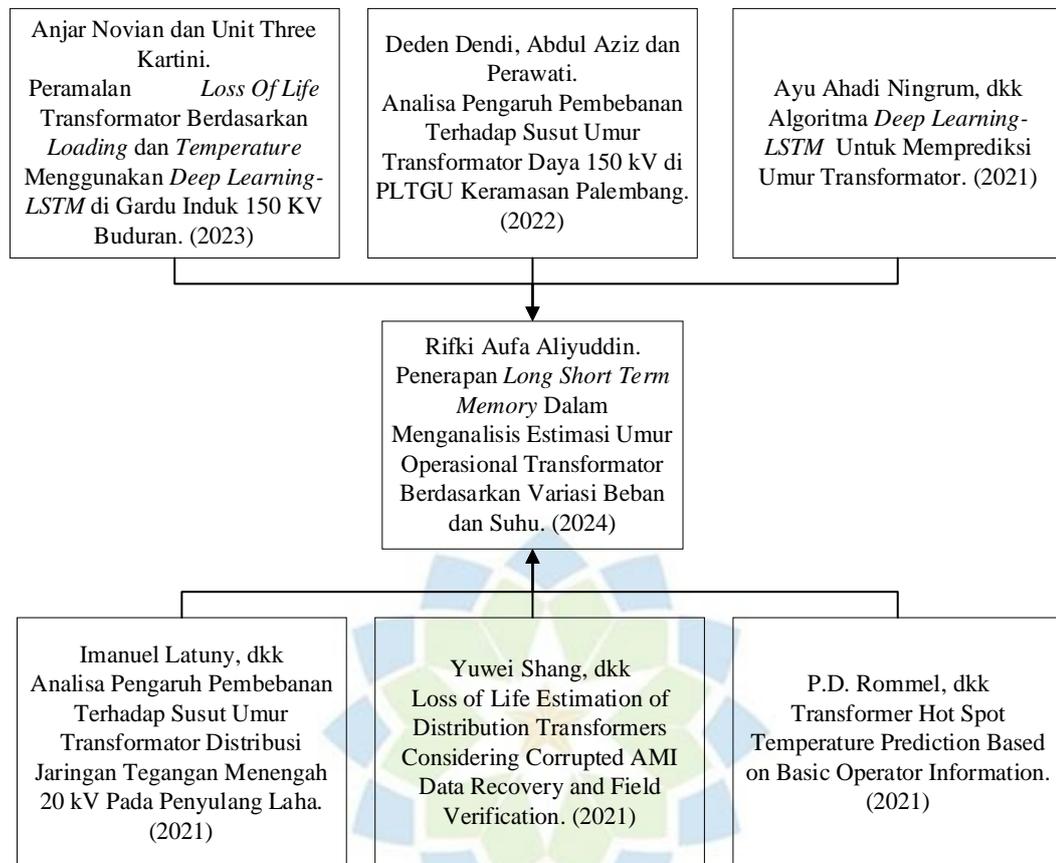
Penelitian Imanuel Latuny, dkk [13] menganalisis pengaruh dari pembebanan terhadap susut umur transformator dengan menghitung besar presentase sisa umur transformator yang telah dipakai selama beberapa tahun. Penelitian ini dilaksanakan di PT PLN Area Ambon pada Penyulang Laha, menggunakan 10 unit transformator yang mengalami pembebanan di atas 80% dari rating daya transformator. Hasil perhitungan pada transformator yang memiliki beban antara 80% hingga 100% menunjukkan bahwa susut umur pada transformator masih berada dalam batas normal, atau dengan kata lain, tidak berpengaruh signifikan terhadap umur pemakaian transformator tersebut. Rata-rata perkiraan sisa umur transformator masih mencapai lebih dari 20 tahun, yang sesuai dengan standar yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa performa transformator pada kondisi beban tersebut masih memenuhi standar dan dapat diandalkan untuk penggunaan yang lebih lanjut.

Penelitian Yuwei Shang, dkk [14] membahas tentang *Loss Of life* (LOL) atau susut umur pada transformator distribusi. Penentuan estimasi LOL ini dilakukan dengan menggunakan parameter beban transformator, suhu lingkungan dan suhu titik panas belitan transformator. *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) dapat menyediakan profil beban transformator distribusi yang memungkinkan solusi estimasi LOL yang ekonomis. Namun, dataset AMI sering

mengalami kesalahan nilai dari hasil Pengukuran yang signifikan sehingga mengurangi akurasi estimasi LOL. Oleh karena itu, Penelitian ini dilakukan dengan melakukan prediksi nilai beban untuk memulihkan data AMI yang salah karena nilai beban bersifat tidak stasioner atau fluktuatif. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu ES-LSTM yang dapat memprediksi pola konsumsi beban. Hasil dari Penelitian ini membuktikan keunggulan dari metode LSTM yang diverifikasi dengan menggunakan data asli dari AMI.

Penelitian D.P. Rommel dkk [15], memprediksi umur pakai transformator daya yang menjadi tantangan bagi perusahaan konsultan yang terkendala oleh keterbatasan informasi dan penggunaan metode-metode konvensional. Penelitian ini mengambil pendekatan alternatif untuk mengevaluasi umur transformator dengan memanfaatkan informasi yang terbatas, seperti rating transformator, arus, dan tegangan rms. Penelitian ini menggunakan transformator daya 154 kV, 15MVA. Untuk mengevaluasi nilai yang didapat, hasil dari penelitian ini dibandingkan dengan perhitungan suhu sesuai dengan panduan beban IEEE/IEC. Hasil akhir menunjukkan bahwa prediksi memiliki akurasi yang baik, sehingga perhitungan suhu *hot spot* transformator secara implisit dapat memprediksi umur pakainya.

Berdasarkan hasil tinjauan literatur terhadap beberapa penelitian sebelumnya, pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisis mengenai penerapan metode *LSTM* dalam memprediksi estimasi umur operasional transformator berdasarkan variasi beban dan suhu minyak. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Cianjur dengan menggunakan data beban (MW) dan Suhu Minyak ($^{\circ}\text{C}$) pada 1 Januari 2019 – 16 Juli 2024. Pada penelitian ini juga dilakukan analisis mengenai pengaruh pembebanan dan suhu minyak terhadap umur transformator, sehingga dapat memungkinkan untuk pengelolaan beban transformator yang lebih efisien dan perawatan yang tepat waktu yang memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Gambar 1.1 merupakan alur tinjauan terdahulu yang dijadikan acuan pada penelitian ini.



Gambar 1. 1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang sudah diuraikan maka rumusan masalah yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penerapan model *Long Short Term Memory* (LSTM) dalam memprediksi estimasi umur operasional trafo berdasarkan variasi beban dan suhu?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan dan suhu minyak terhadap umur transformator?

1.4 Tujuan

Dari latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan model *Long Short Term Memory* (LSTM) untuk memprediksi estimasi umur operasional trafo berdasarkan variasi beban dan suhu.
2. Mengetahui pengaruh pembebanan serta suhu terhadap sisa umur transformator.

1.5 Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin di capai yaitu :

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman di bidang teknik kelistrikan dan komputasi dengan menerapkan metode *Long Short Term Memory* dalam menganalisis estimasi umur operasional transformator. Hal ini dapat memberikan kontribusi baru pada ilmu pengetahuan dan membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut.

2. Manfaat Praktis

Implementasi metode *Long Short Term Memory* dalam analisis estimasi umur operasional transformator dapat meningkatkan efisiensi operasional. Dengan memahami dan memprediksi umur operasional transformator, perusahaan dapat merencanakan pemeliharaan preventif dengan lebih optimal, mengurangi resiko kegagalan, dan menghindari *downtime* yang tidak terduga.

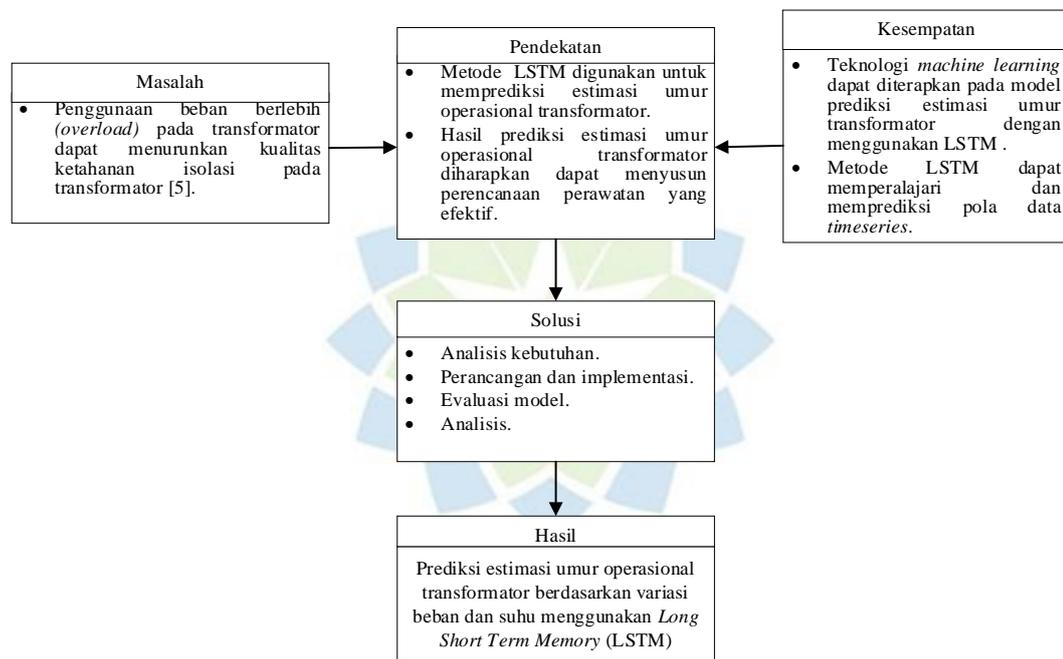
1.6 Batasan Masalah

Batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, maka dari itu perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, agar yang akan didapat lebih spesifik dan terarah. Batasan masalah ini menitik beratkan pada:

1. Penelitian menggunakan 2 transformator yang terdapat di Gardu Induk 150kV Cianjur.
2. Variabel yang digunakan yaitu data beban dan data temperatur pada transformator dari tanggal 1 Januari 2019 sampai 16 Juli 2024.
3. Trafo yang digunakan mempunyai tahun operasi yang berbeda-beda dan menggunakan sistem pendingin ONAN/ONAF.

1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir yaitu berisi alur pemikiran yang memuat uraian sistematis tentang hasil perumusan masalah penelitian yang diperkirakan dapat diselesaikan melalui pendekatan yang dibutuhkan untuk mengetahui prediksi estimasi umur transformator dengan Menggunakan metode *Long Short Term Memory* untuk mengatasi masalah tersebut, Kerangka berpikir penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka Berpikir

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari enam bab yang menguraikan permasalahan yang dibahas. Berikut sistematika penulisan tugas akhir ini:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini meliputi latar belakang, kajian riset terdahulu, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini menjelaskan tentang hal-hal pokok sebelum melakukan penelitian. karena menyangkut dengan penelitian perlu adanya penguasaan teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan mengenai estimasi umur

transformator berdasarkan variasi beban dengan menggunakan *Long Short Term Memory*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan tentang metode penelitian yang digunakan pada penyusunan tugas akhir ini mengenai penerapan *Long Short Term Memory* (LSTM) dalam memprediksi umur operasional transformator.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini berisikan tentang semua skema perancangan dan alur prinsip kerja dari sistem kinerja model algoritma *Long Short Term Memory* (LSTM) dalam memprediksi sisa umur transformator yang telah dibuat.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini dilakukan serangkaian pengujian untuk mendapatkan hasil serta analisis berdasarkan teori yang sudah ada dalam menganalisa kinerja model algoritma LSTM dalam memprediksi umur tranformator.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, serta berisi saran terkait dengan bagaimana cara dan apa saja yang harus dikembangkan pada model prediksi sisa umur transformator.