

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia yang menopang berbagai sektor, mulai dari industri, transportasi, hingga kehidupan sehari-hari. Sistem kelistrikan harus dipertahankan keandalan dan kinerjanya untuk menyediakan sistem kelistrikan yang tepat, dan diharapkan dapat dioperasikan selama bertahun-tahun [1]. Dalam sistem kelistrikan, transformator memiliki peran krusial sebagai peralatan utama dalam distribusi daya listrik. Transformator pertama kali dibahas oleh Michael Faraday pada tahun 1831 dan dibawa ke depan oleh banyak sarjana ilmiah terkemuka lainnya [2]. Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah satu atau lebih energi listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gendang magnet yang didasarkan pada prinsip induksi-elektromagnet [3]. Transformator digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dalam sistem transmisi daya listrik. Transformator seringkali mengalami degradasi yang dapat menyebabkan penurunan kinerja dan memperpendek umur operasionalnya.

Jika mengacu pada peringkat pengenalan, umur operasional transformator biasanya diperkirakan bisa sampai 30 tahun [4]. Tetapi, tingkat *loss of life* transformator tidak selalu konsisten setiap tahunnya, karena dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pembebanan, temperatur minyak, kondisi lingkungan, dan perawatan [5]. Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap degradasi transformator adalah suhu dan beban. Suhu tinggi pada titik *hot spot* dapat mempercepat penuaan sistem isolasi transformator, yang menyebabkan kegagalan isolasi dan memperpendek umur peralatan. Apabila transformator mengalami suhu *hot spot* yang melampaui dari 98°C, maka dapat mempercepat proses penuaan dan susut umurnya akan begitu cepat sehingga dapat mengurangi umur transformator yang tidak diharapkan [6].

Pembebanan yang berlebihan dapat mempercepat penuaan transformator dengan meningkatkan panas yang dihasilkan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa laju susut umur transformator tidak selalu konstan setiap tahunnya, tetapi

dipengaruhi oleh kombinasi faktor pembebanan yang dilakukan [7]. Oleh karena itu, diperlukan metode yang akurat untuk memprediksi umur operasional transformator agar dapat mengoptimalkan jadwal pemeliharaan dan mencegah kegagalan yang tidak terduga.

Dalam beberapa tahun terakhir, metode berbasis pembelajaran mesin (*machine learning*) telah banyak diterapkan dalam melakukan suatu prediksi. *Machine learning* (ML) adalah cabang dari *Artificial Intelligent* (AI) yang mengenali dan mempelajari pola kumpulan data yang berbeda. Salah satu metode yang populer dalam ML adalah *Artificial Neural Network* (ANN). ANN adalah keluarga dari metode *deep learning* (DL) dan ML yang didasarkan pada jaringan syaraf tiruan (JST) dengan lapisan *multi-hidden* [8]. ANN secara teknis bekerja dengan meniru cara kerja otak manusia dalam mengenali pola dan melakukan prediksi. ANN memungkinkan mesin untuk belajar dari data, mengenali pola, dan mengambil keputusan [9].

Terdapat beberapa algoritma yang digunakan dalam ANN. Salah satu algoritma yang umum digunakan dalam ANN adalah *Backpropagation Neural Network* (BPNN). Algoritma BPNN merupakan salah satu teknik pembelajaran dalam ANN yang banyak digunakan untuk menangani permasalahan prediksi dan klasifikasi. Algoritma BPNN bekerja dengan menyesuaikan bobot berdasarkan kesalahan *output* yang dihasilkan, sehingga mampu meningkatkan akurasi prediksi [10]. *Backpropagation* memungkinkan pelatihan jaringan saraf *multi-layer* dengan cara menghitung *error* di *output* layer dan mendistribusikan koreksi ke *layer* sebelumnya [9].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa BPNN dapat digunakan untuk memprediksi sisa umur transformator dengan akurasi yang tinggi. Pada tahun 2010, *Backpropagation Neural Network* (BPNN), *Classification and Regression Tree* (CART), dan *Generalized Regression Neural Network* (GRNN) digunakan untuk memprediksi prestasi matematika mahasiswa oleh Chun-Teck Lye, hasilnya adalah BPNN mengungguli model lain dengan akurasi sebesar 66.67% dan 71.11% dalam memprediksi hasil ujian tengah semester dan ujian akhir semester [11]. Adapun penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa metode BPNN

mampu mencapai akurasi prediksi hingga 97,81% dalam beberapa konfigurasi data [12]. Namun, penelitian yang lebih mendalam dan spesifik masih diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan BPNN dalam melakukan prediksi.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi sisa umur transformator berbasis algoritma BPNN dengan mempertimbangkan data operasional suhu, pembebanan, dan kualitas minyak sebagai faktor utama. Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan transformator dengan meningkatkan akurasi prediksi umur operasional, sehingga dapat membantu operator sistem tenaga dalam mengambil keputusan yang lebih optimal terkait perawatan dan penggantian transformator. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam aspek akademik, tetapi juga memiliki dampak praktis dalam sistem tenaga listrik.

1.2. Kajian Riset Terdahulu

Untuk menunjukkan bahwa penelitian ini bebas dari unsur plagiarisme, 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	Implementasi <i>Machine Learning</i> Pada Sistem Informasi Pemeliharaan Transformator Daya	Hilda Khoirotul Hidayah, Ekojono, dan Endah Septa Sintiya	2024
2	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

No	JUDUL	PENELITI	TAHUN
3	<i>Utilization of Artificial Neural Networks for Precise Electrical Load Prediction</i>	Christos Pavlatos, Evangelos Makris, Georgios Fotis, Vasiliki Vita, dan Valeri Mladenov	2023
4	Prediksi Sisa Umur Transformator Distribusi Menggunakan Metode <i>Neuro Wavelet</i>	Novie Elok Setiawati	2021
5	Algoritma <i>Deep Learning</i> -LSTM Untuk Memprediksi Umur Transformator	Ayu Ahadi Ningrum, Iwan Syarif, Agus Indra Gunawan, Edi Satriyanto, dan Rosmaliati Muchtar	2021

Penelitian yang dilakukan oleh Hilda Khoirotul Hidayah, dkk [13] membahas penerapan teknik *machine learning* dalam sistem informasi untuk mendukung pemeliharaan transformator daya. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam perencanaan serta pengelolaan pemeliharaan transformator dengan memanfaatkan algoritma *machine learning* yang mampu mengolah data historis operasional transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *machine learning* dapat membantu dalam mendeteksi pola degradasi komponen transformator serta memberikan rekomendasi jadwal pemeliharaan secara lebih optimal. Kajian ini memberikan wawasan penting terkait integrasi kecerdasan buatan dalam sistem pemantauan kondisi transformator, yang dapat menjadi referensi dalam pengembangan model prediksi umur transformator berbasis *machine learning*.

Pada penelitian Anjar Novian dan Unit Three Kartini [5] dilakukan pemanfaatan *Deep Learning LSTM* untuk meramalkan *loss of life* transformator berdasarkan data historis beban dan suhu di Gardu Induk 150 KV Buduran. LSTM digunakan untuk memodelkan hubungan kompleks antara pembebanan, suhu, dan laju penuaan transformator. Hasilnya menunjukkan bahwa model LSTM mampu memberikan prediksi yang akurat, dengan tingkat kesalahan yang rendah. Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi pengelola gardu induk dalam mengoptimalkan pengoperasian transformator untuk memperpanjang umur pakainya.

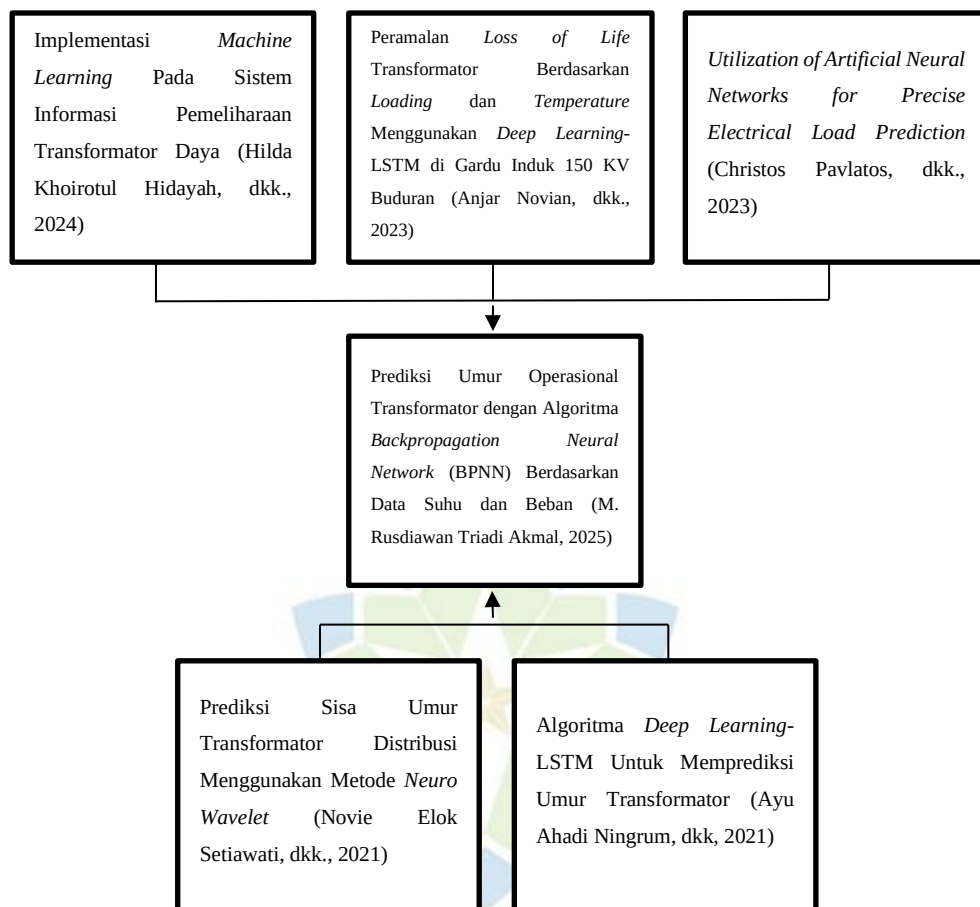
Penelitian yang dilakukan oleh Pavlatos, dkk [14] memperkenalkan kerangka kerja efektif untuk memprediksi beban listrik masa depan menggunakan input beban harian atau per jam. Kerangka ini memanfaatkan model *Recurrent Neural Network* (RNN) yang terdiri dari dua lapisan *simple RNN* dan satu lapisan *dense*, serta menggunakan *optimizer Adam* dan fungsi *loss tanh* selama proses pelatihan. Sistem yang diusulkan mampu menangani prediksi beban listrik jangka pendek dan menengah, tergantung pada ukuran dataset input. Pengujian ekstensif dengan berbagai dataset menunjukkan bahwa semua variasi jaringan berhasil menangkap pola dasar dan mencapai kesalahan pengujian yang kecil dalam hal *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Menariknya, kerangka kerja yang diusulkan mengungguli jaringan saraf yang lebih kompleks, dengan RMSE sebesar 0,033, menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam memprediksi beban masa depan karena kemampuannya dalam menangkap pola dan tren data.

Kemudian, pada penelitian yang dilakukan oleh Novie Elok Setiawati [12] membahas penerapan metode *backpropagation neural network (BPNN)* untuk memprediksi sisa umur transformator. Penelitian ini menggunakan data pembebanan transformator distribusi 20 kV/380-220 Volt yang dikumpulkan selama 24 jam di Surabaya Utara. Data meliputi arus pada fasa R, S, dan T, kapasitas transformator, serta tahun operasi. Dalam model ini, dua skenario digunakan: 100% data untuk pelatihan dan pengujian (Komposisi I) serta 50% data untuk pelatihan dan 50% untuk pengujian (Komposisi II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *backpropagation* mampu memprediksi sisa umur

transformator dengan akurasi tinggi, yaitu 97,81% untuk Komposisi I dan 96,94% untuk Komposisi II. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam strategi pemeliharaan prediktif transformator, khususnya dalam konteks distribusi listrik di Indonesia.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Ayu Ahadi Ningrum, dkk [15] yang membahas pengembangan aplikasi prediksi umur transformator menggunakan metode *Long Short-Term Memory* (LSTM). Data yang digunakan berasal dari 25 unit transformator, mencakup sensor arus, tegangan, dan suhu. Kinerja model dievaluasi menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *Squared Correlation* (SC). Selain LSTM, algoritma lain seperti *Multilayer Perceptron*, *Linear Regression*, dan *Gradient Boosting Regressor* juga diterapkan sebagai pembanding. Hasil percobaan menunjukkan bahwa LSTM memiliki kinerja superior dengan RMSE sebesar 0,0004 dan SC sebesar 0,9690, setelah melalui seleksi fitur menggunakan algoritma *KBest* dan penyesuaian parameter. Penelitian ini menegaskan bahwa metode LSTM lebih unggul dibandingkan algoritma lain dalam memprediksi umur transformator.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas metode prediksi dengan menggunakan pendekatan berbasis *machine learning* dan *deep learning*. Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan model prediksi umur operasional transformator menggunakan algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dengan memanfaatkan data operasional seperti suhu, beban, dan kualitas minyak sebagai parameter utama. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan akurasi estimasi dibandingkan metode konvensional maupun model *deep learning* lainnya yang memerlukan komputasi lebih kompleks. Dengan pendekatan yang peneliti lakukan, penelitian ini memberikan alternatif lain yang dapat dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator. Alur tinjauan terdahulu yang dijadikan acuan pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.1.



1.3. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perancangan dan implementasi algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi sisa umur operasional transformator?
2. Bagaimana kinerja model *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi sisa umur operasional transformator?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

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

1. Merancang dan mengimplementasikan algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi umur operasional transformator.
2. Menganalisis kinerja model *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi umur operasional transformator.
3. Memperoleh prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan *Backpropagation Neural Network* (BPNN).

1.4.2. Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin dicapai yaitu:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini dapat menambah referensi ilmiah mengenai penerapan *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam prediksi umur transformator, maupun peralatan kelistrikan lain, dan juga dapat mendorong pengembangan metode berbasis *machine learning* untuk aplikasi teknis lainnya di bidang kelistrikan.

2. Manfaat Praktis

Implementasi algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dapat digunakan dalam analisis umur operasional transformator untuk pemeliharaan yang lebih efektif, dan dapat meningkatkan efisiensi operasional transformator dengan memperhatikan faktor-faktor seperti suhu kerja, dan pola pembebanan.

1.5. Batasan Masalah

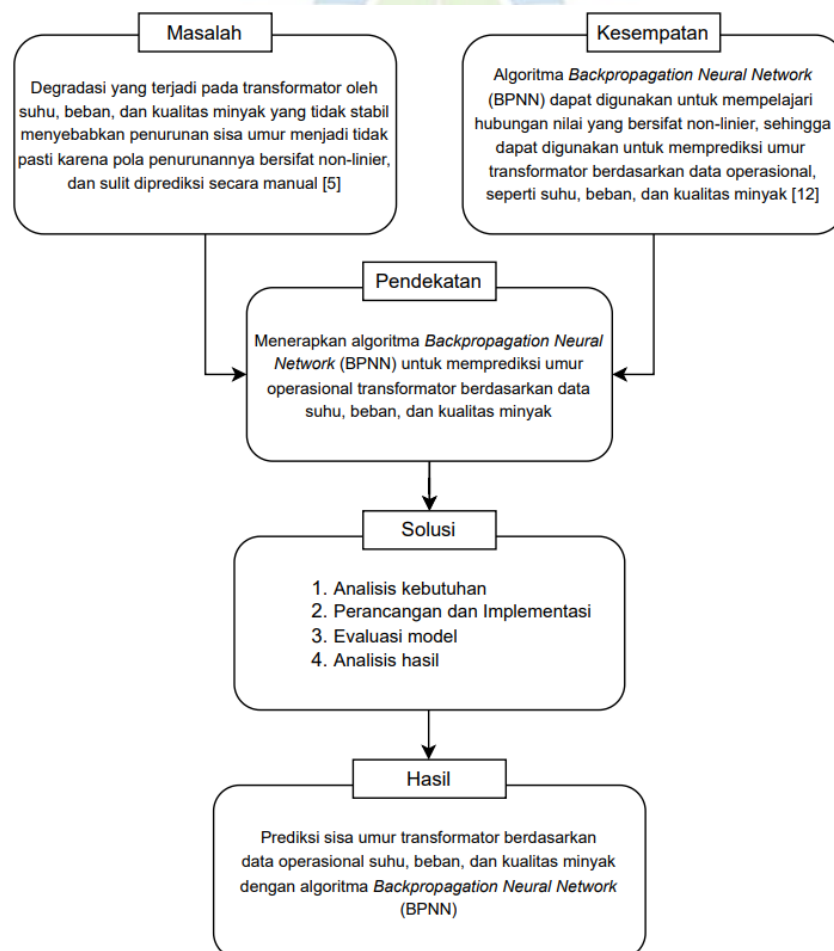
Batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, maka dari itu perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, agar dapat lebih spesifik dan terarah. Batasan masalah pada penelitian ini menitikberatkan pada:

1. Prediksi sisa umur dilakukan untuk transformator jenis IBT (*Inter-Bus Transformer*) dengan kapasitas 500 MVA yang berlokasi di Gardu Induk Ujung Berung dan Gardu Induk Bandung Selatan.
2. Data operasional yang digunakan dalam penelitian terbatas pada periode tahun 2021 hingga 2024.

3. Model prediksi yang digunakan hanya dengan algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN), tanpa menggunakan algoritma yang lain.
4. Kinerja model hanya dievaluasi dengan menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) dan Koefisien Determinasi (R^2).

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan alur pemikiran yang memuat tentang uraian sistematis tentang hasil perumusan masalah penelitian. Hal tersebut diperkirakan dapat diselesaikan melalui pendekatan yang dibutuhkan untuk mengetahui prediksi umur operasional dari transformator dengan menggunakan algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN). Untuk mengatasi masalah tersebut, kerangka berpikir penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka Berpikir.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini memiliki sistematika penulisan yang terdiri dari enam bab, berikut penjabarannya:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini berisi tinjauan pustaka atau penjelasan tentang seluruh aspek yang terkait dengan sistem. Termasuk di dalamnya adalah penjelasan mengenai transformator, *Backpropagation Neural Network* (BPNN), metrik evaluasi, dan penjelasan lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian, dan langkah penelitian mengenai implementasi *Backpropagation Neural Network* (BPNN) untuk prediksi umur operasional transformator berdasarkan suhu dan beban operasional.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini berisikan tentang semua skema perancangan dan implementasi dari kinerja model algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi sisa umur transformator.

BAB V HASIL DAN ANALISIS

Pada bab ini dilakukan serangkaian pengujian untuk mendapatkan hasil dan analisis. Hasil dan analisis dilakukan berdasarkan kinerja model algoritma *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam memprediksi sisa umur transformator.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Termasuk di dalamnya berisi saran untuk pengembangan terkait dengan penelitian dari prediksi sisa umur transformator.