

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan inti dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Oleh sebab itu transformator diharapkan dapat bekerja secara maksimal karena konsumsi daya listrik setiap tahunnya meningkat. Jumlah pelanggan listrik pada akhir tahun 2022 sebesar 85.636.198 pelanggan meningkat 3,75% dari akhir tahun 2021 [1]. Mempertimbangkan pentingnya peran transformator, maka kondisi transformator harus selalu dipantau.

Berdasarkan standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60076-7 transformator memiliki umur 20,55 tahun atau 180000 jam [2]. Namun, realitanya menunjukkan bahwa dalam beberapa kasus, umur pakai transformator dapat lebih singkat dari perkiraan tersebut. Faktor utama yang menyebabkan penyusutan umur transformator adalah *overload* dan suhu lingkungan. *Overload* menyebabkan kenaikan suhu pada lilitan transformator dan penurunan tahanan isolasi sehingga mempercepat penyusutan umur transformator [3]. Sebagai contoh, pada bulan Mei 2020 terdapat 40 unit transformator PLN di Provinsi Jawa Tengah meledak karena *overload* [4]. Standar IEC 60076-7 menetapkan bahwa transformator dapat dibebani penuh selama 24 jam dengan batas aman suhu *hotspot* sebesar 98°C [5]. Namun, di Indonesia dengan iklim tropis dan peningkatan beban, suhu transformator dapat melampaui standar. Kondisi ini mengakibatkan potensi kerusakan komponen dan kegagalan, seperti yang terjadi pada kasus PLN di Jawa Tengah.

Berdasarkan masalah dan urgensi tersebut, upaya yang dapat dilakukan untuk mengetahui penyusutan umur transformator yaitu melalui berbagai metode pendekatan prediksi beban. Sebagai contoh, pendekatan prediksi dapat dilakukan menggunakan metode seperti *backpropagation* dalam jaringan saraf tiruan [6] [7], regresi linear [8], *random forest* [9], *random forest regression* dan *multilayer perceptron regression* [10]. Diantara penggunaan berbagai metode tersebut, metode regresi linear menunjukkan hasil yang lebih unggul dan umum digunakan untuk prediksi, dekripsi dan pengendalian [11].

Selain itu, metode regresi linear adalah metode yang ideal untuk data yang sederhana dan linear karena kemudahan dalam interpretasi dan efisiensinya [12] [13]. Dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya serta teori, maka untuk penelitian ini dengan jumlah data kecil, dan penggunaan dua atribut, yakni periode pembebanan dan beban transformator yang bersifat linear, metode *machine learning* yang dipilih sebagai pendekatan analisis adalah metode regresi linear.

Pada penelitian ini digunakan tiga transformator dengan lokasi yang berbeda, yakni di Gardu Induk (GI) Patuha, GI Bandung Selatan, dan GI Lagadar. Dengan memanfaatkan metode regresi linear pada *machine learning*, maka pembebanan ketiganya diprediksi. Nilai pembebanan tersebut digunakan untuk menghitung susut umur transformator. Data hasil perhitungan dapat dilihat pada *website* PUTRA dan dari data tersebut dapat dianalisis pengaruh dari pembebanan dan suhu lingkungan terhadap susut umur transformator bagi perencanaan dan penanganan transformator.

1.2 Tinjauan Penelitian Sejenis

Tabel 1.1 menunjukkan referensi utama yang menjadi dasar dari penelitian ini.

Tabel 1. 1 Referensi penelitian.

JUDUL	PENELITI	TAHUN
<i>Analysis of the Effect of Loading on the Transformers Usage Time</i>	Adi Syahputra Ritonga, Muchlis Abdul Muthalib, Muhammad Daud, Hamdi Akmal Lubis, Biswas Babu Pokhrel, Sudip Phuyal and Umakant B. Gohatre	2021
<i>A Method for Fans' Potential Malfunction Detection of ONAF Transformer Using Top-Oil Temperature Monitoring</i>	Lujia Wang, Wanwan Zuo, Zhi-xin Yang, Jianwen Zhang and Zhenlu Cai	2021
Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode Backpropagation	Novie Elok Setiawati, Rosmaliati, Misbahul Munir, Trisna Wati, dan Ilmiatul Masfufiah	2021

JUDUL	PENELITI	TAHUN
Analisis Peramalan Susut Umur Transformator Daya Berdasarkan Pembebanan Menggunakan Metode Regresi Linear	Retno Sari Juwita, Liliana L	2023
Analisa Kinerja Operasional dan Temperatur Terhadap <i>Life Time</i> Transformator 370 MVA	Setio Pambudi	2023

Penelitian Adi Syahputra Ritonga dkk [14] menganalisis pengaruh pembebanan terhadap waktu pemakaian transformator daya. Melalui perhitungan manual berdasarkan beban konstan dan pengaruh suhu sekitar, didapatkan hasil yang menunjukkan variasi susut umur transformator. Pada beban penuh (100%), susut umurnya mencapai 2,52 p.u/hari dengan sisa umur 10 tahun. Seiring penurunan beban menjadi 90%, susut umur berkurang menjadi 1,44 p.u/hari, memberikan sisa umur 18 tahun. Beban 80% menyebabkan susut umur lebih rendah lagi, yakni 0,67 p.u/hari, dan transformator masih dapat beroperasi selama 38 tahun ke depan. Data ini memberikan pemahaman yang kuat tentang dampak beban terhadap umur pakai transformator, menjadi dasar untuk pengelolaan dan pemeliharaan yang optimal.

Penelitian Lujia Wang dkk [15] menganalisis potensi kerusakan kipas transformator *Oil Natural Air Forced* (ONAF) menggunakan pemantauan suhu *Top-Oil* dengan sebuah metode. Metode yang digunakan adalah metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Metode tersebut digunakan untuk memantau eksponen minyak secara *real-time* sehingga dapat mendeteksi apabila adanya malfungsi pada kipas transformator daya. Selain itu, pada penelitian ini dilakukan *Top Oil Thermal* (TOT) monitoring. Dalam pemantauan TOT eksponen minyak berguna untuk menunjukkan kondisi kipas angin dengan dua kasus. Pertama yaitu pengoperasian dalam metode pendinginan *Oil Natural Air Natural* (ONAN) dan *Oil Natural Air Forced* (ONAF) sedangkan kasus kedua, hasil eksponen oli tersebut dipakai untuk pemantauan secara *real-time* menggunakan PSO.

Penelitian Novie Elok Setiawati dkk [6] menganalisis prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan metode *backpropagation*. Data yang

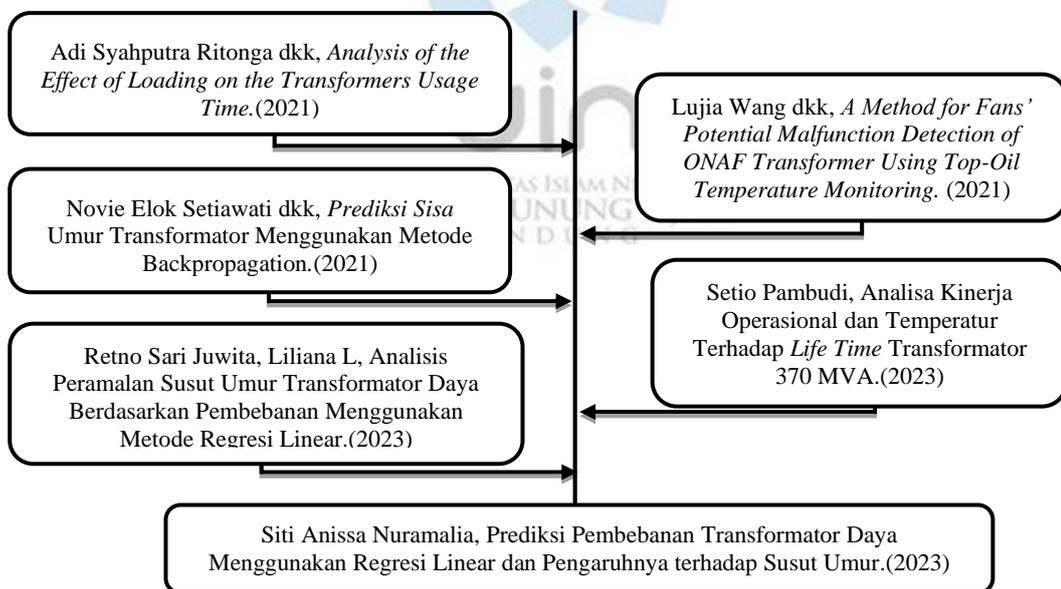
dibutuhkan untuk prediksi ini meliputi data kapasitas, tahun operasi serta besar arus pada fasa R, S dan T pada transformator pada waktu satu hari. Proses prediksi sisa umur transformator dengan metode ini terdapat dua lapisan yakni lapis tersembunyi dan lapis keluaran. Pengujian prediksi sisa umur transformator ini dilakukan dengan dua skenario yaitu komposisi I terdiri dari 100% data *training* dan data *testing* sedangkan komposisi II terdiri dari 50% data *training* dan 50% data *testing*. Hasil prediksi sisa umur transformator dengan dua skenario tersebut berjalan dengan baik karena hasil prediksi mendekati nilai umur aslinya. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan maka temperatur *hotspot* akan tinggi dan menyebabkan susut umur transformator.

Penelitian Retno Sari Juwita dan Liliana L [13] menganalisis prediksi penurunan usia transformator daya menurut beban memanfaatkan pendekatan regresi linear. Data beban transformator yang diperoleh dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) diolah dan dianalisis menggunakan kalkulator ilmiah serta aplikasi *Microsoft Excel*. Kemudian dilakukan pemeriksaan kebenaran hasil pengolahan data secara manual dengan *software* Minitab. Setelah pengolahan data hasil ramalan beban sudah masuk, tahap berikutnya adalah memperkirakan umur transformator berdasarkan peramalan beban transformator menggunakan metode regresi linear. Maka hasilnya yaitu peningkatan beban pada transformator akan berdampak pada kenaikan suhu *hotspot*. Sejalan dengan peningkatan suhu, terjadi potensi percepatan penyusutan umur transformator.

Penelitian Setio Pambudi [16] menganalisis kinerja operasional dan temperatur untuk jangka waktu hidup transformator 370 MVA. Penelitian ini bersifat kuantitatif dan melibatkan pengukuran serta pengumpulan data sejumlah dua puluh empat kali selama 24 jam pada 31 Juli 2022. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu lingkungan memiliki dampak signifikan terhadap kenaikan suhu minyak isolasi transformator. Seiring dengan temuan tersebut, diperkirakan masa operasional transformator daya ini mencapai 3,41 tahun.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa penelitian terdahulu hanya memprediksi penyusutan usia transformator daya dengan

menerapkan pendekatan regresi linear tanpa membandingkan tiga jenis transformator daya. Lalu ada beberapa penelitian yang hanya menggunakan perhitungan manual regresi linear tanpa menggunakan program komputer. Terdapat juga penelitian yang menggunakan metode *backpropagation* namun hanya menggunakan satu unit transformator. Selain itu, pengambilan data dilakukan hanya dalam sehari. Adapun penelitian menggunakan metode PSO hanya untuk mendeteksi malfungsi pada kipas transformator. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu penggunaan *machine learning* dengan metode regresi linear serta perhitungan manual karena penelitian sebelumnya hanya menggunakan *software* minitab dan perhitungan manual. Lalu, penggunaan tiga transformator daya dengan lokasi dan suhu lingkungan yang berbeda yakni di GI Patuha, GI Bandung Selatan, dan GI Lagadar. Masing-masing transformator daya tersebut dianalisis susut umurnya dengan memprediksi pembebanan menggunakan metode regresi linear. Penyajian data prediksi tersebut melalui antarmuka web sederhana. Gambar 1.1 merupakan tinjauan penelitian sejenis yang dijadikan acuan referensi pada penelitian ini.



Gambar 1.1 Hubungan penelitian.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka terdapat masalah-masalah yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini:

1. Bagaimana prediksi pembebanan menggunakan regresi linear untuk menghitung susut umur transformator daya pada suhu lingkungan yang berbeda?
2. Bagaimana hasil prediksi pembebanan dan susut umur transformator daya pada suhu lingkungan yang berbeda?
3. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap susut umur ketiga transformator daya?

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Memprediksi pembebanan menggunakan regresi linear untuk menghitung susut umur transformator daya pada suhu lingkungan yang berbeda.
2. Menghitung hasil prediksi pembebanan dan susut umur transformator daya pada suhu lingkungan yang berbeda.
3. Melakukan analisis pengaruh pembebanan dan suhu lingkungan terhadap susut umur ketiga transformator daya.

1.4.2 Manfaat

Adapun guna dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat akademis yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah menyumbangkan pemahaman ilmiah dengan memberikan contoh praktis tentang metode regresi linear dalam analisis sistem tenaga listrik.
2. Manfaat praktis yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah dapat membantu perusahaan listrik merencanakan pemeliharaan yang lebih efektif untuk meningkatkan keandalan jaringan listrik.

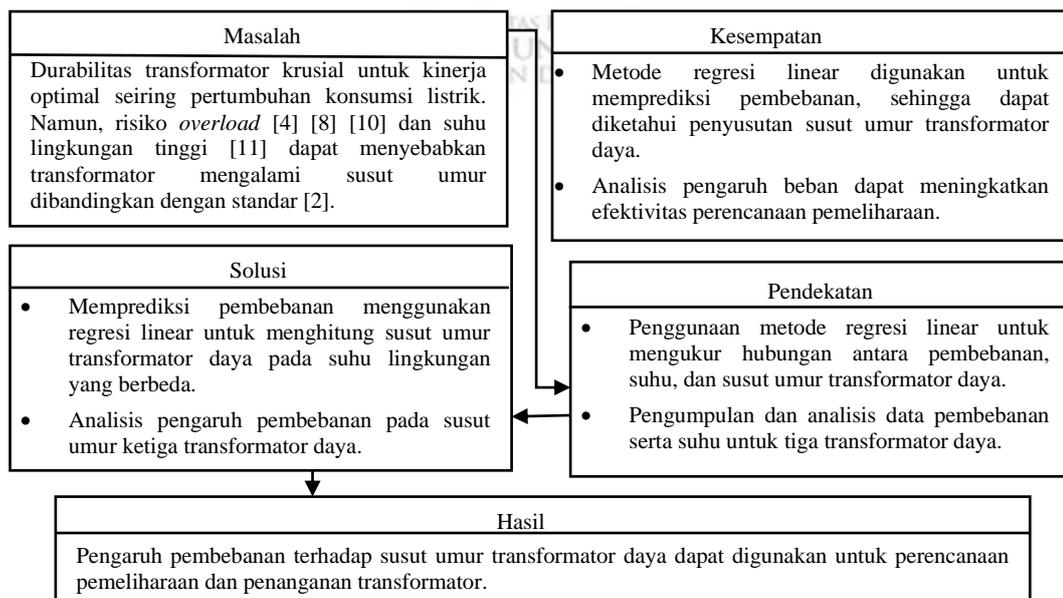
1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan efektif, diperlukan batasan-batasan yang jelas seperti berikut:

1. Jenis transformator yang digunakan yaitu pada jaringan transmisi.
2. Transformator yang dijadikan objek penelitian yakni transformator yang berada di wilayah dengan suhu lingkungan yang berbeda.
3. Faktor yang memengaruhi susut umur yang dianalisis hanya pembebanan dan suhu lingkungan.
4. Data yang digunakan untuk prediksi serta analisis adalah periode pengambilan data, data beban transformator dan data suhu.
5. Penelitian ini terfokus pada analisis dan prediksi susut umur transformator sebagai pokok bahasan.
6. Penelitian ini membatasi penyajian data hasil prediksi melalui antarmuka web sederhana, tanpa mendalam pada *website* beserta proses pembuatannya atau tidak menjadi fokus penelitian.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir menggambarkan secara sistematis alur pemikiran yang melandasi perumusan masalah penelitian. Secara keseluruhan, ilustrasi kerangka pemikiran penelitian terdapat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Alur kerangka berpikir.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan ini diatur dengan tata susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tinjauan penelitian sejenis, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini memuat teori serta perhitungan yang berhubungan dengan prediksi pembebanan pada transformator daya di Gardu Induk (GI) menggunakan regresi linear serta pengaruhnya terhadap susut umur.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir serta tahapan-tahapan proses untuk pemecahan masalah penelitian dengan sistematis.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini berisi uraian tentang perancangan implementasi regresi linear untuk mengetahui nilai pembebanan sehingga dapat dilakukan analisis susut umur transformator daya. Hal tersebut meliputi pengumpulan dan pemrosesan data, serta perhitungan prediksi beban dan susut umur transformator daya.

BAB V HASIL DAN ANALISIS

Bab ini memuat hasil dan analisis dari model regresi linear, termasuk evaluasi performa terhadap pembebanan dan susut umur 3 unit transformator pada ketiga daerah serta analisis faktor-faktor yang memengaruhi susut umur tersebut.

BAB VI PENUTUP

Bab terakhir merupakan bagian penutup dari penelitian. Pada bagian ini akan dijelaskan kesimpulan hasil penelitian beserta saran-saran untuk penelitian berikutnya.