

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan komponen vital dalam jaringan listrik yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi serta menjaga keandalan jaringan sistem tenaga listrik. Transformator membutuhkan perawatan dan pemeliharaan berkala guna memastikan keandalan operasionalnya [1]. Kegagalan pada transformator dapat saja terjadi kapanpun, sehingga menyebabkan gangguan yang sangat berdampak pada sistem tenaga listrik dan keandalan pada kebutuhan listrik. Oleh karena itu, agar tetap dapat berfungsi secara optimal, transformator harus dijaga keandalannya agar dapat menyalurkan energi listrik dengan baik [2].

Kegagalan pada transformator bisa saja berasal dari dalam transformator maupun dari luar transformator itu sendiri. Kegagalan sistem dari dalam transformator yang sering kali muncul biasanya berupa *Short Circuit*, *Winding Displacement*, *Winding Looseness*, *Partial Discharge*, *Through Faults Current (TFC)*, *Arcing*, *Overloading*, dan *Overheating* [3]. *Partial Discharge* merupakan jenis kegagalan internal berupa pelepasan listrik yang terjadi pada sebagian di dalam maupun di sekitar material isolasi listrik yang menyebabkan terjadinya hubung arus singkat [4].

Dalam menjaga kestabilan sistem dan kondisi transformator agar tetap optimal dan terhindar dari kegagalan salah satunya ialah *partial discharge*, perlu adanya pengujian rutin yang dilakukan terhadap sebuah transformator. Salah satunya dengan pengujian bahan isolasi yang terdapat di dalam internal transformator seperti minyak isolasinya. Kandungan minyak isolasi memiliki beberapa jenis gas terlarut seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), oksigen (O₂), metana (CH₄), etana (C₂H₆), etilen (C₂H₄), karbon dioksida (CO₂). Setiap jenis gas memiliki peran penting terhadap kondisi transformator [5]. Pada *partial discharge* nilai kadar hidrogen, nilai kelembaban air, serta suhu pada minyak isolasi menjadi indikator penting untuk mengetahui kegagalan *partial discharge*. Oleh karena itu, nilai kadar gas terlarut berupa hidrogen dan beberapa parameternya pada minyak isolasi transformator sangat penting untuk diketahui. Kegagalan *partial*

discharge akan berdampak buruk pada transformator, biasanya akan menyebabkan kerusakan isolasi, penurunan umur transformator, kerusakan fisik, dan dapat terjadinya potensi kebakaran.

Terdapat beberapa cara untuk mengetahui nilai gas terlarut beserta parameter yang dibutuhkan dalam minyak isolasi transformator. Beberapa cara untuk mengetahui kegagalan transformator dapat menggunakan metode *Dissolve Gas Analysis* (DGA). Pada *dissolve gas analysis* banyak cara yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan kadar gas terlarutnya, seperti *Total Dissolve Combustible Gas* (TDCG) [6], *Duval's Triangle* [7], *Roger's Ratio* [8], *Key Gas* [9]. Beberapa metode memiliki keunggulan dan kekurangannya dalam analisis gas terlarut untuk melakukan klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge*. Seiring dengan berjalannya waktu, metode tersebut dapat dilakukan optimalisasi dengan bantuan *machine learning*. *Machine learning* digunakan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam melakukan klasifikasi kondisi kegagalan *partial discharge* pada transformator. Beberapa metode pada *machine learning* yang dapat digunakan dalam klasifikasi kondisi kegagalan *partial discharge* pada transformator seperti *Decision Tree* [10], *Naïve Bayes* [11], *Linear Regression* [12], *Random Forest* [13], dan *Support Vector Machine* (SVM) [14].

Berdasarkan historis yang didapatkan pada transformator yang dijadikan studi kasus, dinyatakan bahwa transformator tersebut mulai dari tahun 2022 hingga 2023 untuk nilai kadar hidrogen mengalami peningkatan drastis dan mengindikasikan secara kuat terdapat anomali yaitu *partial discharge* dan mengindikasikan akan mengalami kegagalan jika tidak ditangani secara intens. Transformator ini juga sudah beberapa kali mengalami kebocoran minyak isolasi secara halus pada *bottom tank*. Pengujian analisis gas terlarut sering dilakukan dengan membawa sampel minyak isolasi ke dalam laboratorium internal milik PLN akan tetapi hasil pengujian tidak langsung didapatkan karena proses pengujian sampel minyak yang membutuhkan waktu yang cukup lama.

Oleh karena itu, didukung dengan beberapa bukti terhadap kondisi transformator yang sudah disebutkan, penelitian terkait klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* penting untuk dilakukan. Penentuan

parameter menggunakan *Dissolve Gas Analysis* (DGA) dengan metode *Key Gas* untuk mengidentifikasi nilai kadar gas terlarut yang terukur pada minyak isolasi transformator. Pendekatan *supervised learning* menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dan *Random Forest* (RF) digunakan sebagai model klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge*. Penelitian ini sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi transformator yang disebabkan oleh *partial discharge* dengan hasil klasifikasi yang langsung didapatkan. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data menggunakan sebuah perangkat keras (detektor kadar gas hidrogen, kelembaban air, dan suhu minyak isolasi) dan berdasarkan pengambilan sampel minyak dan hasil uji secara rutin yang dilakukan selama periode waktu tertentu. Penelitian dilakukan pada sebuah transformator berkapasitas 60 MVA di *Gas Insulated Station* (GIS) 150 KV Bintaro.

1.2 Kajian Riset Terdahulu

Kajian riset sebelumnya merupakan penanda perbedaan dari karya penelitian yang sedang dikerjakan serta perbandingan dengan studi-studi lain dalam bidang yang sama. Bagian ini mencakup ringkasan singkat dari beberapa studi terdahulu, yang bertujuan untuk mempertegas keotentikan penelitian yang akan dilaksanakan. Dapat dilihat pula pada Tabel 1.1 mengenai beberapa referensi penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian sejenis oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 1. 1 Referensi penelitian terdahulu.

No.	Judul	Peneliti	Tahun
1	<i>Methodologic Approaches for Transformer Fault Prediction</i>	Yavuz Selim Balcioglu dan Bulent Sezen	2023
2	<i>Identification of Partial Discharge Sources by Feature Extraction from a Signal Conditioning System</i>	Itaiara Felix, Edson Guedes, Luiz Augusto, Allan David	2024
3	<i>Feature Engineering and Classification Models for Partial</i>	Jonathan Wang, Kesheng Wu, dan Seongwook Hwangbo	2022

No.	Judul	Peneliti	Tahun
	<i>Discharge in Power Transformers</i>		
4	<i>Partial Discharge Localization through K-NN and SVM</i>	Permit Mathuhu Sekatane dan Pitshou Bokoru	2023
5	<i>Overview and Partial Discharge Analysis of Power Transformers: A Literature Review</i>	MD Rashid Hussain, Shady S. Refaat, dan Haitham Abu-Rub	2021

Telah banyak metode, tujuan, dan tekniknya masing-masing, telah dilakukan penelitian di Indonesia dan luar negeri untuk memklasifikasi kegagalan *partial discharge* pada transformator dengan menggunakan pendekatan *supervised learning*. Dapat dilihat pula Gambar 1.1, mengenai beberapa jenis penelitian yang berhubungan dengan kebutuhan riset yang akan dilakukan.

Penelitian oleh Yavuz Selim Balcioglu dkk [15] membahas mengenai pengujian dengan menggunakan berbagai metode yang menekankan pada tingkat akurasi untuk membangun model klasifikasi kegagalan untuk transformator. Penelitian ini menggunakan beberapa metode untuk mendapatkan perkiraan yang lebih akurat untuk jenis kegagalan yang lainnya, seperti: *Support Vector Machine (SVM)*, *Artificial Neural Network (ANN)*, *Decision Tree*, dan *Naïve Bayes*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu keakuratan model digunakan untuk menilai kinerja model. Telah ditemukan bahwa metode SVM adalah metode yang paling sering digunakan untuk jenis kegagalan gas terlarut. Di sisi lain, untuk mendapatkan perkiraan yang lebih akurat untuk jenis kesalahan lainnya, diperlukan eksperimen lebih lanjut dengan bentuk masukan dan algoritma lain. Selain itu, penelitian lebih lanjut harus dilakukan untuk mengungkap lebih banyak jenis gangguan pada transformator dan algoritma yang paling efektif untuk memklasifikasi gangguan.

Selanjutnya, penelitian Itaiara Carvalho dkk [16] membahas mengenai kegagalan *partial discharge* dengan mengusulkan dua metode *supervised learning* berupa *K-Mean*, *Gaussian Mixture Model (GMM)*, dan *Support Vector Machine*

(SVM). Penelitian ini melakukan pemisahan, mendeteksi, dan mengklasifikasikan PD dengan melibatkan pengembangan kondisi sinyal deteksi PD dan meningkatkan *signal-to-noise ratio*. Klasifikasi PD dilakukan dengan mengambil sampel isolasi yang terdapat dalam sebuah transformator. Hasil klasifikasi menunjukkan akurasi mencapai 93%. Implementasi berdasarkan sinyal sistem pengkondisian dan pendekatan pemisahan sinyal berbasis *supervised learning* memiliki sifat yang lebih ekonomis, terukur dan andal.

Penelitian Jonathan Wang dkk [17] melakukan penelitian terkait *partial discharge* pada sebuah transformator. Tujuannya melakukan klasifikasi PD sebagai *corona*, pengambang, partikel, dan *void* untuk melakukan pemahaman terkait lokasi kegagalan PD. Data yang ditangkap berupa data sinyal PD pada setiap fase. Metode Optimalisasi menggunakan bantuan *supervised learning* seperti *random forest* dan *support vector machine*. Hasil yang didapatkan bahwa akurasi klasifikasi mencapai 99%, yang secara signifikan lebih tinggi menggunakan klasifikasi berbasis metode manual. Hal ini membuktikan bahwa model menghasilkan kinerja yang lebih unggul dalam akurasi klasifikasi dalam mendeteksi beberapa variasi yang diberikan.

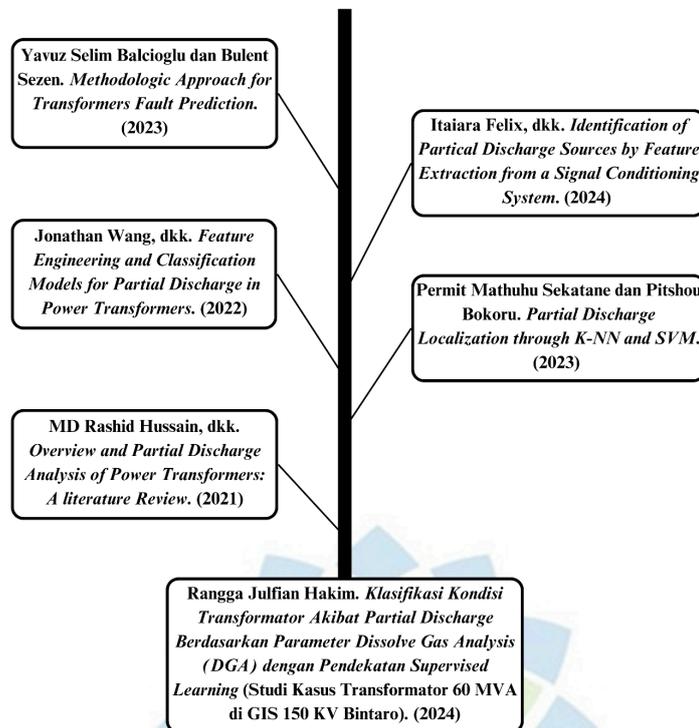
Selanjutnya, Permit Mathuhu Sekatane dan Putshou Bokoru [18] melakukan klasifikasi *partial discharge*. Data analisis gas terlarut digunakan, namun hal ini menjadi kekurangan dalam melakukan klasifikasi PD pada sebuah transformator karena sering kali mengandung nilai yang hilang. Dalam mengatasi hal tersebut, Optimalisasi metode klasifikasi menggunakan *K-Nearest Neighbors* (KNN) dengan menggabungkan *Support Vector Machine*. Sumber data analisis gas terlarut didapatkan pada sebuah transformator bertegangan tinggi. Kumpulan data digunakan untuk mencapai kinerja klasifikasi tinggi. Nilai yang hilang dalam data analisis gas terlarut dievaluasi menggunakan metode KNN. Hasil menunjukkan bahwa pendekatan ini mengalami peningkatan akurasi dan presisi dibandingkan dengan metode tanpa bantuan pembelajaran mesin.

Penelitian terakhir yang dilakukan oleh Rashid Hussain dkk [19] melakukan analisis untuk memantau, mendeteksi, dan menemukan *partial discharge* pada transformator daya. Metode yang dilakukan untuk deteksi yaitu dari berbagai teknik

seperti *electromagnetic detection*, *electrical detection*, *gas presence method*, *optical detection*, dan *acoustic emission method*. Variasi metode ini dilakukan untuk membandingkan deteksi PD terbaik dengan cara nya masing-masing. Hasil pada penelitian ini menjelaskan mengenai kelebihan dan kekurangan masing-masing teknik dari deteksi PD. Beberapa fitur untuk deteksi PD seperti *denoising*, fitur ekstraksi, klasifikasi, dan pengelompokan dilakukan.

Setelah melakukan studi literatur dari berbagai macam penelitian terdahulu yang sesuai dengan topik penelitian yang akan diangkat, maka penelitian ini melakukan klasifikasi kondisi transformator dengan cara membandingkan tingkat akurasi pembacaan kadar gas terlarut pada sebuah transformator. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) metode pengukuran yaitu *electronic device* (e-DOC) dan pengambilan sampel minyak secara rutin yang dilakukan oleh pihak *end user* (PLN) dibandingkan dengan pengambilan secara internal oleh tim peneliti. Hasil pengukuran dilakukan pengujian tingkat akurasi berdasarkan pengambilan data menggunakan perangkat e-DOC dan sampel minyak. Setelahnya, dibuat model klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* pada transformator berdasarkan parameter *dissolve gas analysis* (DGA) menggunakan pendekatan model *supervised learning* dengan 2 (dua) metode yaitu *Support Vector Machine* (SVM) dan *Random Forest* (RF) untuk mencari tingkat akurasi tertinggi dengan model klasifikasi yang dilakukan.

Penelitian ini merujuk pada lima (5) referensi yang relevan dengan topik yang diteliti. Beberapa topik yang berkaitan dengan penelitian ini diantaranya adalah kegagalan transformator dengan melakukan klasifikasi kondisi menggunakan beberapa pendekatan *supervised learning*, kondisi kegagalan *partial discharge* dengan beberapa macam metode analisisnya, dan jenis-jenis kegagalan yang terdapat pada sebuah transformator. Hubungan antar penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Hubungan penelitian.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil *dissolve gas analysis* (DGA) pada transformator untuk dilakukan klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* yang dijadikan studi kasus?
2. Bagaimana kinerja pendekatan *supervised learning* dalam melakukan klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* pada transformator?
3. Bagaimana hasil klasifikasi dan rekomendasi kondisi transformator akibat *partial discharge* pada transformator yang dijadikan studi kasus menggunakan pendekatan *supervised learning*?

1.4 Tujuan dan Manfaat

Identifikasi tujuan dan manfaat penelitian akan memperlihatkan hasil yang dapat dicapai serta dampak positif yang dapat diberikan.

1.4.1 Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah diidentifikasi dan rumusan masalah yang dirumuskan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil DGA yang akan dijadikan klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* pada transformator yang dijadikan studi kasus.
2. Menerapkan model klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* berdasarkan hasil DGA menggunakan pendekatan *supervised learning*.
3. Memberikan rekomendasi aksi yang harus dilakukan berdasarkan hasil klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* yang dikembangkan.

1.4.2 Manfaat

Penelitian ini tentu saja memiliki beberapa manfaat yang diharapkan diantaranya:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk pengembangan keilmuan selanjutnya dan bermanfaat bagi para pembaca di dunia akademis.

2. Manfaat Praktis

- a. Penelitian ini dapat difungsikan sebagai sumber acuan dengan tingkat akurasi tinggi yang dapat diandalkan untuk digunakan sebagai hasil analisis kegagalan *partial discharge* pada transformator.
- b. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk pengoptimalan metode klasifikasi kondisi transformator untuk kegagalan lainnya pada dengan menggunakan pendekatan *supervised learning*.

1.5 Batasan Masalah

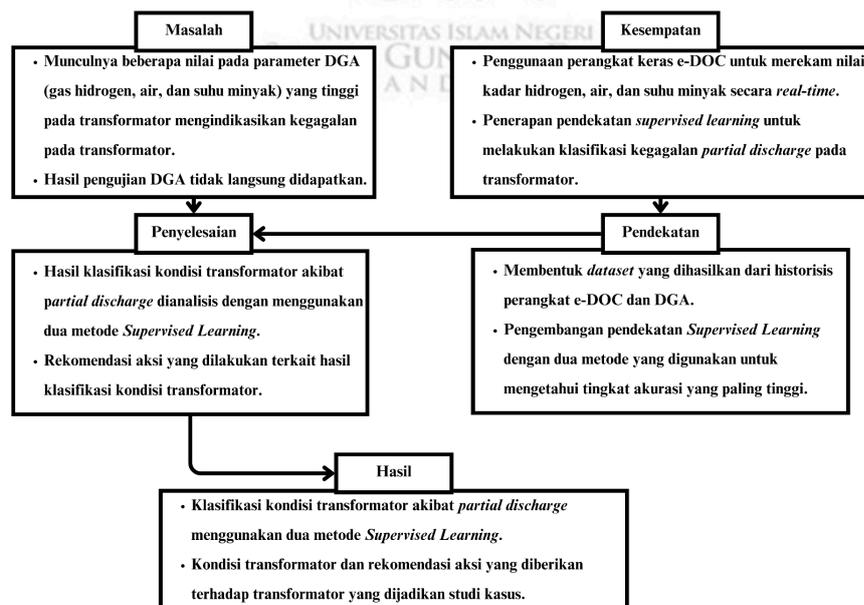
Batasan masalah diperlukan untuk mengatasi kemungkinan penelitian yang terlalu luas dan memastikan lingkup pembahasan pada penelitian yang jelas. Oleh karena itu, diperlukan perancangan batasan masalah agar penelitian dapat

berlangsung dengan spesifik dan sesuai tujuan. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Parameter yang diuji pada minyak isolasi meliputi kelembaban air (H₂O), suhu minyak isolasi (°C), dan kandungan gas terlarut hidrogen (H₂).
2. Metode *supervised learning* yang dijadikan klasifikasi pemodelan ialah *Support Vector Machine* (SVM) dan *Random Forest* (RF).
3. Simulasi analisis klasifikasi kegagalan *partial discharge* pada transformator menggunakan bahasa pemrograman *Python*.
4. Data yang digunakan diperoleh dari PT Energi Entelemi Indonesia sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan serangkaian konsep penelitian yang menguraikan alur pemahaman suatu topik tertentu. Melalui kerangka berpikir, penelitian dapat disusun dengan sistematis, mencakup berbagai pendekatan untuk menyelesaikan masalah yang diajukan. Kerangka berpikir mencakup elemen-elemen kunci seperti identifikasi masalah, peluang yang ada, pendekatan yang akan digunakan, strategi penyelesaian, dan hasil yang diharapkan. Ilustrasi dari kerangka berpikir penelitian ini dapat ditemukan dalam Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan

Isi dari tugas akhir ini memiliki sistematika yang terdiri dari 6 bab, yaitu: pendahuluan, teori dasar, metodologi penelitian, perancangan implementasi, hasil pembahasan, dan kesimpulan saran. Berikut penjelasan isi setiap babnya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, perkembangan terkini, perumusan masalah, keunggulan, keterbatasan, kerangka pemikiran, serta penjelasan yang sistematis.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan mengenai hal-hal dasar yang dibutuhkan pada saat melakukan penelitian seperti teori dasar, pemahaman metode. Tujuan bab ini yaitu penguasaan teori yang berhubungan dan mendukung konsep penelitian yang akan dilakukan dalam klasifikasi kondisi transformator dengan pendekatan model *supervised learning*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan serangkaian tahapan dalam penelitian, dimulai dari studi literatur, identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, hingga analisis.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan mengenai proses penerapan metode *supervised learning* untuk klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* yang menjadi pembahasan dalam penelitian. Klasifikasi kondisi transformator menggunakan 2 jenis pendekatan *supervised learning* yaitu *support vector machine* dan *random forest*.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil klasifikasi kondisi transformator akibat *partial discharge* yang didapatkan dari pengujian DGA dengan menggunakan beberapa metode yang diterapkan. Hasil klasifikasi kondisi transformator dianalisis kemudian diberikan rekomendasi terhadap aksi yang dapat dilakukan terhadap masing-masing kondisi.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan bagian penutup dari penelitian. Bagian ini berisi mengenai kesimpulan dari penelitian, serta saran yang diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

