

ABSTRAK

Yegia Joehan Eltan

Skripsi

Penggunaan *Machine Learning* untuk Memprediksi Parameter yang Mempengaruhi Penyimpangan Impedansi dalam Proses Pembuatan Transformator di PT. X

PT. X menghadapi tantangan dalam menjaga mutu dalam kualitas produk transformator distribusi, khususnya terkait dengan nilai impedansi. Impedansi transformator direpresentasikan sebagai nilai tahanan resistif dan nilai tahanan reaktansi induktif. Tahanan resistif ini dihasilkan dari rugi-rugi tahanan pada belitan dimensi koil ketika terjadi beban penuh.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk memprediksi parameter dimensi koil yang mempengaruhi penyimpangan Impedansi dalam proses pembuatan transformator. Dataset dari PT. X yang mencakup ratusan data dimensi koil dan nilai penyimpangan impedansi transformator digunakan untuk pelatihan serta analisis data. *ECLAT Algorithm* digunakan untuk mencari hubungan (aturan asosiasi) antara parameter dimensi koil dengan penyimpangan impedansi. Sementara, *explainable AI SHAP (Shapley Additive exPlanations)* digunakan untuk membuka *black box* dan mencari pengaruh parameter dimensi koil terhadap penyimpangan impedansi pada model *XGBoost machine learning*. Setelah pencarian hubungan dan pengaruh pada parameter yang menyebabkan impedansi, dilakukan pengujian pada aplikasi web dengan melakukan modifikasi nilai parameter untuk mendapatkan nilai penyimpangan impedansi sekecil mungkin.

Hasil dari pengujian didapatkan 29.513 hubungan antara parameter dimensi koil dengan nilai penyimpangan impedansi. *Outer diameter HV* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap penyimpangan impedansi diikuti dengan *outer diameter length HV*, *outer diameter length LV*, *inner diameter height LV*. Sementara aplikasi *website* menghasilkan saran perbaikan untuk memodifikasi parameter dimensi koil yang berpengaruh terhadap penyimpangan impedansi dengan batasan pengaruh elektrik yang direpresentasikan oleh dimensi koil berupa panjang kawat, koil area, koil radius, koil *height*, dan *layer insulation thickness*.

Kata Kunci: transformator, *machine learning*, impedansi, dimensi koil, *ECLAT algorithm*, XAI SHAP

ABSTRACT

Yegia Joehan Eltan

Undergraduate Thesis

Using Machine Learning to Predict Parameters Influencing Impedance Deviations in the Transformer Manufacturing Process at PT. X

PT. X faces challenges in maintaining the quality of distribution transformer products, particularly regarding impedance values. Transformer impedance is represented by resistive resistance and inductive reactance. The resistive resistance is caused by losses in the coil winding dimensions when under full load.

This final project aims to predict the coil dimension parameters that influence impedance deviations in the transformer manufacturing process. A dataset from PT. X, which includes hundreds of data points on coil dimensions and transformer impedance deviation values, is used for training and data analysis. The ECLAT Algorithm is used to find associations between coil dimension parameters and impedance deviations. Meanwhile, explainable AI SHAP (Shapley Additive exPlanations) is employed to open the black box and determine the impact of coil dimension parameters on impedance deviations in the XGBoost machine learning model. After identifying relationships and influences of the parameters causing impedance deviations, web application testing is conducted by modifying parameter values to achieve the smallest possible impedance deviation.

The test results reveal 29.513 associations between coil dimension parameters and impedance deviation values. The outer diameter HV is the most influential parameter affecting impedance deviations, followed by outer diameter length HV, outer diameter length LV, and inner diameter height LV. Additionally, the website application generates recommendations for adjusting coil dimension parameters that influence impedance deviation, it adheres to electrical impact constraints represented by coil dimensions such as wire length, coil area, coil radius, coil height, and layer insulation thickness.

Keywords: transformer, machine learning, impedance, coil dimensions, *ECLAT algorithm*, XAI SHAP

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBARAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Analisis Kebutuhan	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir	5
1.5 Uraian Singkat Tugas Akhir	5
1.6 Metodologi Perancangan dan Implementasi	6
1.6.1 Studi Literatur	6
1.6.2 Perancangan dan Pembuatan Sistem.....	7
1.6.3 Pengujian Sistem	7
1.6.4 Penyajian Hasil.....	8
1.6.5 Pengambilan Kesimpulan	8
2. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Transformator.....	9

2.1.1	Parameter Transformator	9
2.2	Kriteria Pengujian Trafo	11
2.3	Rangkaian Ekuivalen Transformator	13
2.3.1	Total Rugi Daya	14
2.3.2	Impedansi <i>Short Circuit</i>	15
2.3.3	Tahanan Resistif dan Reaktansi	17
2.4	<i>Machine Learning</i>	19
2.4.1	Proses <i>Machine Learning</i>	20
2.5	<i>Interpretability</i>	20
2.6	<i>Association Rule</i>	21
2.6.1	<i>Support</i>	21
2.6.2	<i>Confidence</i>	21
2.6.3	<i>Lift</i>	21
2.7	Algoritma <i>Equivalence Class Transformation</i> (ECLAT)	22
2.8	<i>Fault Diagnosis of Transformer using Association Rule Mining and Knowledge Base</i>	23
2.9	<i>Explainable AI</i>	24
2.10	Algoritma <i>Shapley Additive exPlanations</i> (SHAP)	24
2.11	XAI for <i>Energy dan Power System</i>	25
3.	PERENCANAAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	27
3.1	Persiapan Data	27
3.1.1	<i>Data Cleaning</i>	27
3.1.2	<i>Data Integration</i>	29
3.1.3	<i>Data Exploration</i>	30
3.2	<i>Eclat Algorithm – Association Machine Learning</i>	32
3.3	<i>SHAP Algorithm – XAI Machine Learning</i>	35
3.4	Streamlit <i>Coil Impedance Prediction</i>	38
3.4.1	<i>Prediction x SHAP</i>	41

3.4.2	<i>Prediction Suggestion</i>	47
3.4.3	<i>Prediction Advance</i>	51
4.	PENGUJIAN SISTEM DAN PENYAJIAN HASIL.....	56
4.1	Perangkat Keras dan Perangkat Lunak yang Digunakan.....	56
4.2	Batasan Parameter Pengujian	56
4.3	Pengujian <i>Eclat Algorithm – Association Machine Learning</i>	57
4.3.1	Pengujian <i>Eclat Algorithm – 8 Parameter</i>	58
4.3.2	Pengujian <i>Eclat Algorithm – 9 Parameter</i>	61
4.4	Pengujian <i>SHAP Algorithm – XAI Machine Learning</i>	63
4.4.1	Identifikasi Kontribusi Parameter	64
4.4.2	Identifikasi Parameter Paling Berpengaruh.....	66
4.5	Pengujian <i>Streamlit Coil Impedance Prediction</i>	67
4.5.1	Hasil <i>Prediction x SHAP</i>	68
4.5.2	Hasil <i>Prediction Suggestion</i>	70
4.5.3	Hasil <i>Prediction Advance</i>	71
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76
	DAFTAR REFERENSI	77
	LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam Pengujian SPLN D3.002-1	11
Tabel 2.2 Toleransi Impedansi	15
Tabel 2.3 Dielektrik Konstan	19
Tabel 2.4 <i>Minimum values of short-circuit impedance</i>	16
Tabel 3.1 Data Panjang Lebar Tinggi Koil Transformator	28
Tabel 3.2 Data Impedansi Transformator	28
Tabel 3.3 Data Panjang, Lebar, Tinggi dan Impedansi Transformator	30
Tabel 4.1 Data Numerik Transformator	57
Tabel 4.2 Data kategorial Transformator	57
Tabel 4.3 Rangkuman Hasil Asosiasi Impedansi 8 Parameter.....	60
Tabel 4.4 Rangkuman Hasil Asosiasi Impedansi 9 Parameter.....	63
Tabel 4.5 SHAP <i>Values</i> pada Model XGBoost.....	66
Tabel 4.6 Kontribusi Relatif masing-masing Parameter.....	64
Tabel 4.7 Parameter dan Pengaruh relatif masing-masing Parameter.....	69
Tabel 4.8 Data Pertama yang Dimodifikasi	72
Tabel 4.9 Data Kedua yang Dimodifikasi pada <i>Prediction Advance</i>	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Koil Transformator	9
Gambar 2.2 Koil Transformator	10
Gambar 2.3 Tampak Samping dan Tampak Atas Koil Transformator	10
Gambar 2.4 Rangkaian Ekvivalen Transformator	13
Gambar 2.5 Block Diagram dari Model ML yang Disederhanakan	19
Gambar 2.6 Algoritma <i>ECLAT</i>	22
Gambar 2.7 <i>Flow Chart ECLAT Algorithm</i>	23
Gambar 2.8 Hasil Komparasi <i>Three-Ratio</i> & ARM.....	24
Gambar 2.9 Contoh Plot SHAP pada Dataset.....	25
Gambar 2.10 Rangkuman Pemanfaatan XAI.....	25
Gambar 3.1 Kode Program <i>Fix-Width Binning</i> pada PLT Transformator	31
Gambar 3.2 Kode Program <i>Fix-Width Binning</i> pada Impedansi Transformator 01	32
Gambar 3.3 Kode Program <i>Import Library</i>	32
Gambar 3.4 Kode Program Membaca <i>Dataset</i>	33
Gambar 3.5 Kode Program <i>TransactionEncoder</i>	33
Gambar 3.6 Kode Program <i>Apriori – Eclat Apply</i>	34
Gambar 3.7 Kode Implementasi Aturan Asosiasi.....	34
Gambar 3.8 Inisiasi SHAP	35
Gambar 3.9 Fungsi <i>create_shapval</i>	35
Gambar 3.10 Objek <i>xgb_explainer</i>	36
Gambar 3.11 Fungsi <i>shap_plot</i>	37
Gambar 3.12 <i>Flow Chart Streamlit Application</i>	38
Gambar 3.13 Inisiasi <i>Library</i> pada Streamlit	39
Gambar 3.14 Persiapan Koneksi, <i>Google Sheet</i> , dan Model <i>Machine Learning</i>	40
Gambar 3.15 <i>Input</i> Data dan Prediksi Impedansi	41
Gambar 3.16 Lanjutan Prediksi Impedansi dan Modifikasi.....	42
Gambar 3.17 Fungsi Visualisasi SHAP	43
Gambar 3.18 Fungsi Visualisasi SHAP Lanjutan.....	44
Gambar 3.19 Fungsi <i>shap_plot</i>	45
Gambar 3.20 Fungsi <i>modify_and_restore</i>	46

Gambar 3.21 <i>Prediction Suggestion Column</i>	47
Gambar 3.22 Fungsi <i>modify_testing</i>	49
Gambar 3.23 Kode Program <i>Prediction Advance</i>	51
Gambar 3.24 Fungsi <i>Calculating</i>	53
Gambar 3.25 Fungsi Modifikasi Data <i>Input</i>	54
Gambar 4.1 Hasil Membaca Dataset <i>Association_Fixwidth</i>	58
Gambar 4.2 Contoh <i>Binary Matrix</i> dan <i>DataFrame</i>	58
Gambar 4.3 Hasil <i>Binary Matrix</i> dan <i>DataFrame</i> 8 Parameter	59
Gambar 4.4 Kumpulan <i>Itemsets</i> Beserta Nilai <i>Support</i>	59
Gambar 4.5 Contoh Hasil Implementasi Aturan Asosiasi	60
Gambar 4.6 <i>Error Status</i>	61
Gambar 4.7 Hasil <i>Binary Matrix</i> dan <i>DataFrame</i> 9 Parameter	61
Gambar 4.8 Kumpulan <i>Itemsets</i> Beserta Nilai <i>Support</i>	62
Gambar 4.9 Contoh Hasil Implementasi Aturan Asosiasi	62
Gambar 4.11 SHAP <i>Values</i> masing-masing Parameter	64
Gambar 4.13 <i>Waterfall Plot</i>	64
Gambar 4.12 <i>Decision Plot</i>	65
Gambar 4.14 Halaman Aplikasi <i>Coil Impedance Prediction</i>	67
Gambar 4.15 Hasil <i>Prediction</i> x SHAP	68
Gambar 4.16 <i>Bar Plot</i> pada <i>Prediction</i> x SHAP	68
Gambar 4.17 Shap <i>Values</i> pada <i>Prediction</i> x SHAP	69
Gambar 4.18 Hasil <i>Prediction Suggestion</i>	70
Gambar 4.19 Halaman <i>Prediction Advance</i>	71
Gambar 4.20 Hasil <i>Prediction Advance</i> pada <i>Google Sheet</i>	71

DAFTAR RUMUS

2.1	Total rugi besi dan tembaga	14
2.2	Total rugi tembaga atau <i>load loss</i>	15
2.3	Impedansi	17
2.4	Reaktansi Induktif	17
2.5	Reaktansi Kapasitif.....	17
2.6	Tahanan konduktor.....	17
2.7	Induktansi Koil	18
2.8	Flux magnet dalam weber	18
2.9	Flux magnet dalam weber	18
2.10	<i>Dielectric Constant</i>	18
2.11	<i>Support</i>	21
2.12	<i>Confidence</i>	21
2.13	<i>Lift Ratio</i>	21

DAFTAR LAMPIRAN

1.	<i>URL Dataset, ECLAT Algorithm, SHAP – XAI, Streamlit Application</i>	74
2.	<i>ECLAT Algorithm pada Kaggle – 8 Parameter</i>	75
3.	<i>ECLAT Algorithm pada Kaggle – 9 Parameter</i>	77
4.	<i>SHAP Algorithm pada Kaggle</i>	79
5.	<i>User Interface Stramlit Application</i>	82
6.	<i>Lembar Pengesahan Proposal TA</i>	86