

**PERAMALAN BEBAN PUNCAK TRANSFORMATOR 60 MVA  
DENGAN METODE DEKOMPOSISI DAN REGRESI LINEAR  
PADA GARDU INDUK 150/20 KV WELERI**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1  
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung



**DISUSUN OLEH :**

**NAMA : PRASETYO WAHYU AJI RITABIN**

**NIM : 30602000002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2025**

**TRANSFORMER PEAK LOAD FORECASTING 60 MVA  
WITH DECOMPOSITION AND LINEAR REGRESSION METHODS  
IN 150/20 KV WELERI SUBSTATION**

**FINAL PROJECT**

*Proposed was prepared to fulfil one of the requirement for obtaining an  
undergraduate degree in the electrical engineering study program  
faculty of Industrial Technology Sultan Agung Islamic University*



**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

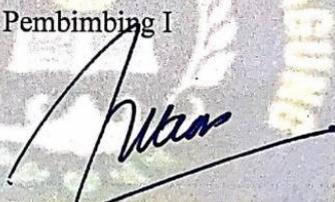
Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERAMALAN BEBAN PUNCAK TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DEKOMPOSISI DAN REGRESI LINEAR PADA GARDU INDUK 150/20 KV WELERI” ini disusun oleh:

Nama : PRASETYO WAHYU AJI RITABIN  
NIM : 30602000002  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Senin  
Tanggal : 10 Maret 2025

Pembimbing I

  
Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Artini Dwi P., M.Si  
NIDN : 0620026501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro

  
  
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERAMALAN BEBAN PUNCAK TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DEKOMPOSISI DAN REGRESI LINEAR PADA GARDU INDUK 150/20 KV WELERI” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin, 10 Maret 2025  
Tanggal : 10 Maret 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.

NIDN : 0618066301

Ketua

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN : 0619076401

Penguji II

Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si.

NIDN : 0620026501

Penguji III

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Prasetyo Wahyu Aji Ritabin  
NIM : 30602000002  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“PERAMALAN BEBAN PUNCAK TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DEKOMPOSISI DAN REGRESI LINEAR PADA GARDU INDUK 150/20 KV WELERI”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 7 Maret 2025

Yang Menyatakan



Prasetyo Wahyu Aji Ritabin

## SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : PRASETYO WAHYU AJI RITABIN  
NIM : 30602000002  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“PERAMALAN BEBAN PUNCAK TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DEKOMPOSISI DAN REGRESI LINEAR PADA GARDU INDUK 150/20 KV WELERI”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 7 Maret 2025

Yang Menyatakan



Prasetyo Wahyu Aji Ritabin

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji Syukur yang mendalam senantiasa penulis haturkan kepada Allah subhanahu wata'ala, atas nikmat iman, nikmat islam, nikmat sehat, yang telah diberikan kepada penulis, sholawat seta salam selalu tercurahkan kepada Baginda Agung, Rasulullah Nabi Muhammad Shallallahu alaihi wassalam, yang syafa'atnya selalu menjadi harapan seluruh umatnya kelak di Yaumul akhir.

Dengan diselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada kedua orangtua penulis, sebagai bukti rasa kasih penulisng untuk kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan materil maupun non materil, semangat, dan kasih penulisng.

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis sudah bisa memenuhi kepercayaan kedua orang tua, selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Sultan Agung. Tidak lupa penulis persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada Dosen pembimbing Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si yang telah memfasilitasi, memberikan pengarahan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Tidak lupa pula kepada seluruh rekanrekan penulis Teknik Elektro 2020, penulis ucapkan banyak terimakasih atas dukungan, semangat, dan segala bantuan dalam bentuk apapun, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Salam Hormat, penulis dan cinta atas kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis.

## HALAMAN MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(Q.S Al Baqarah Ayat 286)

"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia."

(HR. Ahmad)

"Basahi lisanmu dengan sholawat"

(Habib Fauzi Rizal Al-Munawwar)

"Jangan jadi lilin yang menerangi gelapnya malam namun rela dirinya terbakar"

"Mari berdiri di atas kaki sendiri dan mari menjadi tinggi tanpa merendahkan"

"Hidup adalah perjalanan, tidak luput dari meninggalkan dan ditinggalkan, jadi biasakanlah dirimu"

## KATA PENGANTAR

### **Bismillahirrahmanirrahim**

#### *Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah segala puji Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga dapat berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat walafiat. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Nabi Muhammad SAW, semoga kelak mendapatkan syafaatnya. Amin Ya Robalalamin.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini adalah suatu salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara morl ataupun material. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hinggannya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta ridhonya serta ketabahan dan kesabaran hati saat berfikir dan menuntut ilmu.
2. Kedua orangtua saya, Bapak Suropto dan Ibu Asih Handayani yang telah memberikan dukungan baik materi maupun non material dan tidak pernah berhenti mendoakan disetiap sujudnya.
3. Bapak Prof Dr. Gunarto SH MH, selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Dr. Ir Hj Novi Marlyana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng. Sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. Sebagai Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT. Sebagai Koordinator Tugas Akhir jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Bapak Agus Suprajitno, ST., MT. Sebagai Dosen Wali saya Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

8. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
9. Seluruh dosen dan karyawan Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
10. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2020 yang senantiasa memberikan dan dukungan, semangat dan doa.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi. Semoga laporan ini memberikan manfaat bagi semua pihak terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

***Wasalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

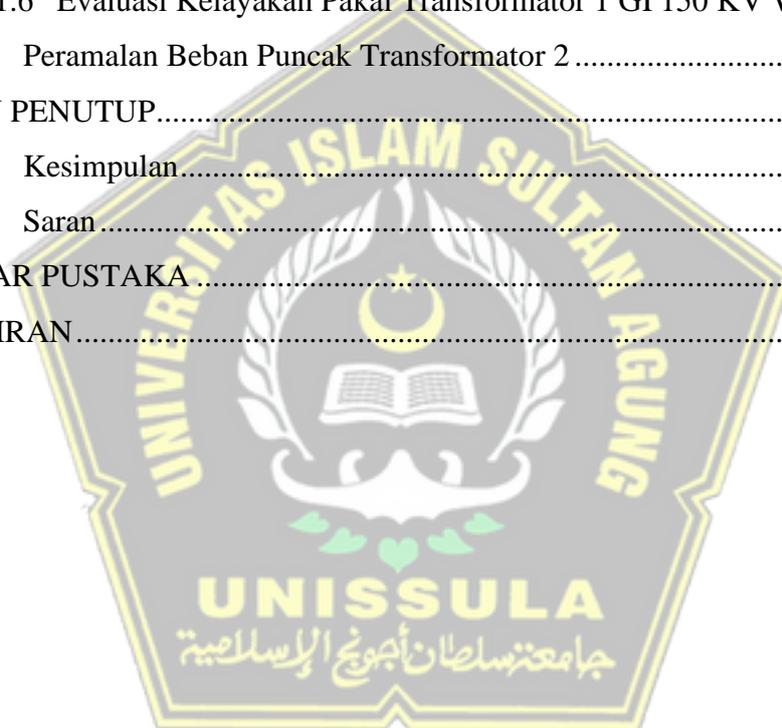
Semarang, Februari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Tempat Penelitian.....	24
3.2 Single line Gardu Induk 150 KV Weleri.....	25
3.3 Metode Pengumpulan Data .....	27
3.4 Flowchart Penelitian.....	28
3.5 Data Penelitian .....	29
3.5.1 Spesifikasi Transformator .....	29

3.5.2	Data Beban Puncak Transformator .....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Peramalan Beban Transformator 1 .....	36
4.1.1	Beban Transformator 1 pada masa lampau .....	36
4.1.2	Peramalan Beban Transformator 1 dengan Metode Regresi Linear ..	39
4.1.3	Peramalan Beban dengan Metode Tren Dekomposisi .....	43
4.1.4	Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 1 .....	53
4.1.5	Hasil Peramalan Beban Puncak.....	54
4.1.6	Evaluasi Kelayakan Pakai Transformator 1 GI 150 KV Weleri .....	60
4.2	Peramalan Beban Puncak Transformator 2 .....	62
BAB V PENUTUP.....		87
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....		89
LAMPIRAN.....		91



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Range nilai MAPE .....	23
Tabel 3.1	Data Beban Transformator 1 Tahun 2020.....	30
Tabel 3.2	Data Beban Transformator 1 Tahun 2021.....	30
Tabel 3.3	Data Beban Transformator 1 Tahun 2022.....	31
Tabel 3.4	Data Beban Transformator 1 Tahun 2023.....	31
Tabel 3.5	Data Beban Transformator 1 Tahun 2024.....	32
Tabel 3.6	Data Beban Transformator 2 Tahun 2020.....	32
Tabel 3.7	Data Beban Transformator 2 Tahun 2021.....	33
Tabel 3.8	Data Beban Transformator 2 Tahun 2022.....	33
Tabel 3.9	Data Beban Transformator 2 Tahun 2023.....	34
Tabel 3.10	Data Beban Transformator 2 Tahun 2024.....	34
Tabel 4.1	Beban Puncak Trafo 1 tahun 2020-2024.....	38
Tabel 4.2	Tabel Penolong Regresi Linear Sederhana Trafo 1 .....	40
Tabel 4.3	Hasil Peramalan Beban Trafo 1 tahun 2024 Metode Regresi Linear ...	43
Tabel 4.4	Data beban yang dipakai dalam metode tren dekomposisi trafo 1 .....	43
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman trafo 1 .....	45
Tabel 4.6	hasil perhitungan R <sub>Kt</sub> , FP dan St Trafo 1 .....	46
Tabel 4.7	Tabel penolong koefisien korelasi Trafo 1 .....	47
Tabel 4.8	Hasil perhitungan Tren linier dan Komponen siklus Transformator 1 .	51
Tabel 4.9	Hasil Peramalan Beban Trafo 1 Tahun 2024 metode Dekomposisi .....	52
Tabel 4.10	Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 1 .....	53
Tabel 4.11	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2025.....	54
Tabel 4.12	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2026.....	55
Tabel 4.13	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2027.....	55
Tabel 4.14	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2028.....	56
Tabel 4.15	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2029.....	56
Tabel 4.16	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2030.....	57
Tabel 4.17	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2031.....	57
Tabel 4.18	Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2032.....	58

Tabel 4.19 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2033.....	58
Tabel 4.20 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2034.....	59
Tabel 4.21 Beban Puncak Transformator 1 Tahun 2025-2034.....	59
Tabel 4.22 Persentase Beban Transformator 1 Tahun 2025-2034.....	61
Tabel 4.23 Tabel Penolong konstanta regresi .....	65
Tabel 4.24 Hasil Peramalan Beban Trafo 2 dengan Metode Regresi Linear .....	68
Tabel 4.25 Data beban yang dipakai dalam metode tren dekomposisi trafo 2 .....	68
Tabel 4.26 Hasil Perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman trafo 2 .....	70
Tabel 4.27 hasil perhitungan R <sub>Kt</sub> , FP dan St Trafo 2.....	71
Tabel 4.28 Tabel penolong koefisien korelasi Trafo 2 .....	72
Tabel 4.30 Perhitungan Tren Linier dan Komponen Siklus Transformator 2 .....	76
Tabel 4.30 Hasil Peramalan Beban Trafo 2 Tahun 2024 dengan Dekomposisi ...	77
Tabel 4.31 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 2.....	78
Tabel 4.32 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2025.....	79
Tabel 4.33 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2026.....	80
Tabel 4.34 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2027.....	80
Tabel 4.35 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2028.....	81
Tabel 4.36 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2029.....	81
Tabel 4.37 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2030.....	82
Tabel 4.38 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2031.....	82
Tabel 4.39 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2032.....	83
Tabel 4.40 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2033.....	83
Tabel 4.41 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2034.....	84
Tabel 4.42 Beban Puncak Transformator 2 Tahun 2025-2034.....	84
Tabel 4.43 Persentase Beban Transformator 2 Tahun 2025-2034.....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	8
Gambar 2.2 Transformator Distribusi .....	10
Gambar 2.3 Rangkaian Transformator.....	10
Gambar 2.4 Tangki Transformator .....	11
Gambar 2.5 Bushing .....	12
Gambar 2.6 Tangki Konservator.....	12
Gambar 2.7 Kumparan Transformator .....	13
Gambar 2.8 Inti Besi .....	13
Gambar 2.9 Tap Changer .....	14
Gambar 2.10 Kurva Karakteristik Beban.....	15
Gambar 2.11 Garis Regresi.....	17
Gambar 3.1 Lokasi GI 150 KV Weleri.....	24
Gambar 3.2 GI 150 KV Weleri.....	25
Gambar 3.3 Single Line Diagram GI 150 KV Weleri .....	25
Gambar 3.4 Diagram Pembagian Beban Pada Transformator 1 .....	26
Gambar 3.5 Diagram Pembagian Beban Pada Transformator 2 .....	26
Gambar 3.6 Flowchart Penelitian.....	28
Gambar 4.1 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2020 .....	36
Gambar 4.2 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2021 .....	36
Gambar 4.3 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2022 .....	37
Gambar 4.4 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2023 .....	37
Gambar 4.5 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2024 .....	38
Gambar 4.6 Grafik Beban Transformator 1 .....	39
Gambar 4.7 Grafik Pertumbuhan Beban Puncak Trafo 1 Tahun 2025-2034.....	60
Gambar 4.8 Beban Transformator 2 tahun 2020.....	62
Gambar 4.9 Beban Transformator 2 tahun 2021.....	62
Gambar 4.10 Beban Transformator 2 tahun 2022.....	63

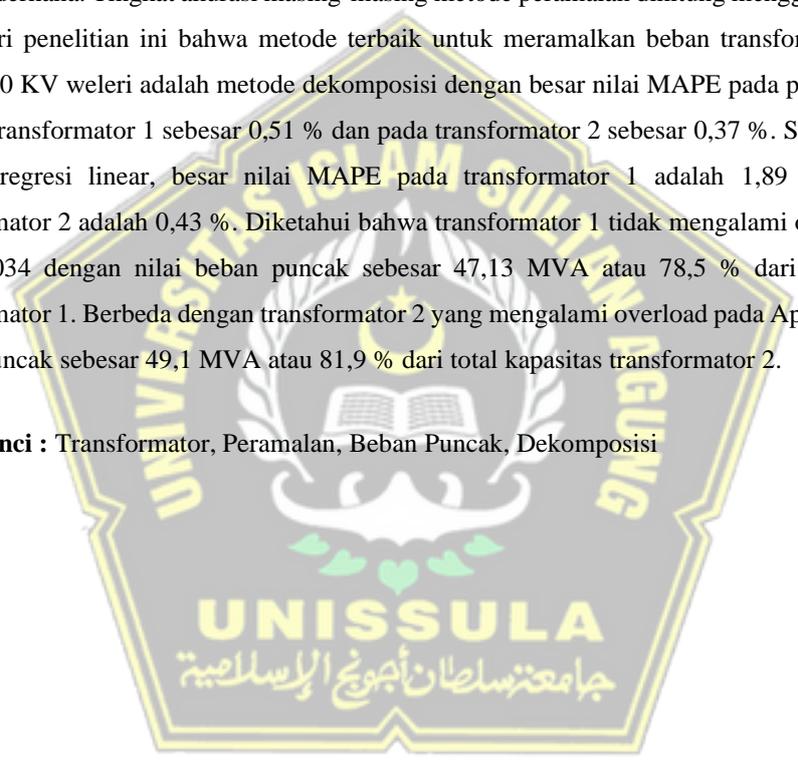
Gambar 4.11 Beban Transformator 2 tahun 2023..... 63  
Gambar 4.12 Beban Transformator 2 tahun 2024..... 64  
Gambar 4.13 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator 2 tahun 2025-2034..... 85



## ABSTRAK

Energi listrik sangat penting bagi kehidupan modern, dengan permintaan yang terus meningkat. Untuk itu, pengembangan sistem tenaga listrik, termasuk penyediaan energi, transmisi, dan distribusi, perlu direncanakan dengan baik. Transformator di gardu induk berperan vital dalam mengubah tegangan tinggi 150 kV menjadi tegangan menengah 20 kV untuk disalurkan ke pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan beban puncak transformator pada gardu induk 150 KV Weleri pada masa 10 tahun mendatang. Metode yang digunakan dalam peramalan ini adalah metode dekomposisi. Sebagai pembanding, peramalan juga dilakukan dengan metode regresi linear sederhana. Tingkat akurasi masing-masing metode peramalan dihitung menggunakan MAPE. Hasil dari penelitian ini bahwa metode terbaik untuk meramalkan beban transformator di gardu induk 150 KV weleri adalah metode dekomposisi dengan besar nilai MAPE pada peramalan beban puncak transformator 1 sebesar 0,51 % dan pada transformator 2 sebesar 0,37 %. Sedangkan untuk metode regresi linear, besar nilai MAPE pada transformator 1 adalah 1,89 % , dan pada transformator 2 adalah 0,43 %. Diketahui bahwa transformator 1 tidak mengalami overload hingga tahun 2034 dengan nilai beban puncak sebesar 47,13 MVA atau 78,5 % dari total kapasitas transformator 1. Berbeda dengan transformator 2 yang mengalami overload pada April 2026 dengan beban puncak sebesar 49,1 MVA atau 81,9 % dari total kapasitas transformator 2.

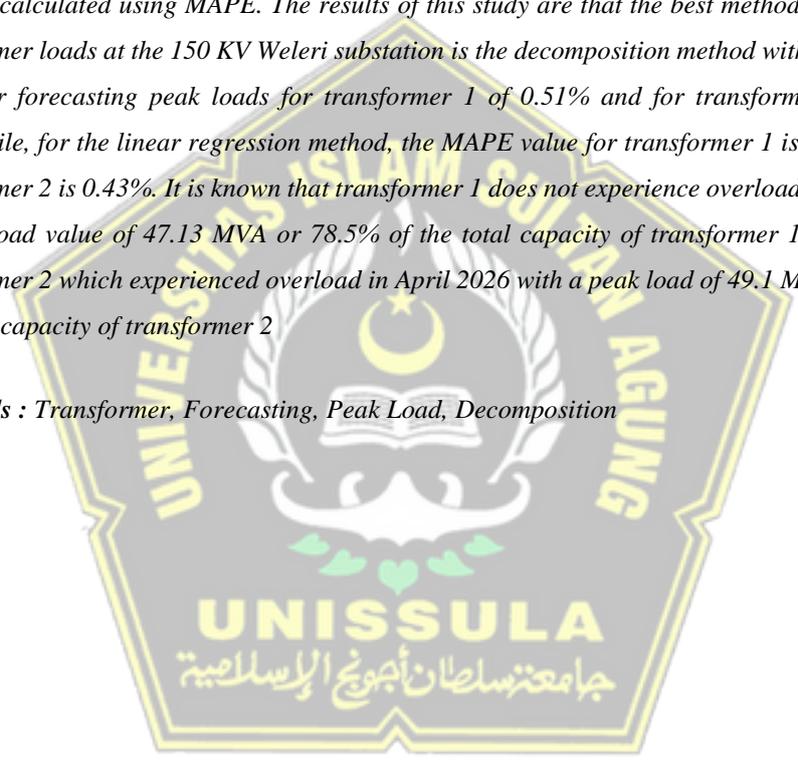
**Kata kunci :** Transformator, Peramalan, Beban Puncak, Dekomposisi



## ABSTRACT

*Electrical energy is essential for modern life, with increasing demand. Therefore, the development of electric power systems, including energy supply, transmission, and distribution, needs to be planned properly. Transformers in substations play a vital role in converting high voltage of 150 kV to medium voltage of 20 kV to be distributed to customers. This study aims to predict the peak load of transformers at the 150 KV Weleri substation in the next 10 years. The method used in this forecasting is the decomposition method. As a comparison, forecasting also be carried out using the simple linear regression method. The level of accuracy of each forecasting method calculated using MAPE. The results of this study are that the best method for forecasting transformer loads at the 150 KV Weleri substation is the decomposition method with a large MAPE value for forecasting peak loads for transformer 1 of 0.51% and for transformer 2 of 0.37%. Meanwhile, for the linear regression method, the MAPE value for transformer 1 is 1.89%, and for transformer 2 is 0.43%. It is known that transformer 1 does not experience overload until 2034 with a peak load value of 47.13 MVA or 78.5% of the total capacity of transformer 1. In contrast to transformer 2 which experienced overload in April 2026 with a peak load of 49.1 MVA or 81.9% of the total capacity of transformer 2*

**Keywords :** *Transformer, Forecasting, Peak Load, Decomposition*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik adalah sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat modern. Perinmintaan akan energi listrik terus meningkat dengan pesat setiap tahunnya. Berdasarkan kondisi ini, pengembangan sistem tenaga listrik, yang mencakup penyediaan sumber energi, transmisi, dan distribusi, perlu direncanakan dengan matang. Salah satu aspek yang perlu ditingkatkan dalam sistem tenaga listrik adalah gardu induk.

Peran gardu induk dalam sistem tenaga listrik sangat penting, Fungsi utamanya adalah sebagai tempat untuk menghubungkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen. Dalam hal ini, transformator memiliki fungsi yang sangat vital dalam penyaluran energi listrik, yaitu mengubah tegangan tinggi 150 kV menjadi tegangan menengah 20 kV untuk disalurkan ke pelanggan.

Transformator yang mengalami pembebanan melebihi kapasitas yang telah ditentukan dapat menyebabkan masalah. Menurut Surat Edaran Direksi Nomor 0017.E/DIR/2014, pembebanan ideal pada transformator seharusnya berada di antara 60% hingga 80%. Oleh karena itu, penting untuk menjaga agar transformator beroperasi dalam batas yang aman untuk mencegah gangguan atau kerusakan dalam sistem distribusi listrik. (PT. PLN (Persero), 2014)

Transformator memiliki peran yang sangat penting dalam sistem transmisi tenaga listrik. Jika transformator tidak beroperasi dengan optimal, beberapa masalah bisa muncul, seperti rugi-rugi daya yang dapat mengurangi efisiensi keseluruhan sistem transmisi, kualitas daya bisa menurun dengan munculnya fluktuasi tegangan atau harmonisa yang mengganggu alat-alat listrik yang terhubung, selain itu transformator yang tidak optimal juga memperpendek umur dari penggunaan transformator itu sendiri. (Widyastuti and Wisnuaji, 2019)

Tugas akhir ini bertujuan untuk meramalkan beban puncak dari suatu transformator pada Gardu Induk 150 KV Weleri hingga 10 tahun kedepan sehingga dapat memastikan transformator tetap aman digunakan dan tetap optimal serta

membuat rencana yang tepat untuk melakukan perawatan maupun penggantian unit transformator agar tidak terjadi kerusakan parah yang dapat menimbulkan kerugian bagi pihak manapun. Terdapat banyak metode forecasting yang ada, baik metode hitung manual maupun menggunakan bantuan komputer. Pada tugas akhir ini, peramalan beban menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode tren dekomposisi. Setelah hasil peramalan beban diketahui, ditentukan manakah metode terbaik untuk meramalkan beban puncak transformator dengan menghitung nilai akurasi masing-masing metode menggunakan perhitungan MAPE. Selain itu juga dilakukan uji kelayakan pakai transformator berdasarkan persentase pembebanan yang telah dicapai pada 10 tahun kedepan.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana metode regresi linear dan dekomposisi dapat digunakan untuk meramalkan nilai beban puncak transformator gardu induk 150 kV Weleri pada 10 tahun kedepan?
2. Bagaimana menentukan metode peramalan terbaik dengan perhitungan MAPE?
3. Bagaimana evaluasi kelayakan transformator gardu induk 150 kV Weleri pada 10 tahun kedepan?

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat dilakukan dan mendalam, maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis membatasi masalahnya sebagai berikut :

1. Hanya menggunakan data historis beban puncak transformator tahun 2020-2024.
2. Hanya menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode tren dekomposisi.
3. Hanya meramalkan beban puncak transformator untuk 10 tahun kedepan dari tahun 2025 sampai tahun 2034.

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memprediksi nilai beban puncak transformator Gardu Induk 150 KV Weleri pada 10 tahun kedepan dengan metode regresi linear sederhana dan metode dekomposisi.
2. Menentukan nilai akurasi peramalan beban transformator dengan MAPE dan menyimpulkan metode terbaik untuk peramalan.
3. Mengevaluasi kelayakan transformator Gardu Induk 150 KV Weleri pada 10 tahun kedepan.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian dan penyusunan proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi kepada PT PLN terkait hasil dari peramalan kapasitas beban transformator daya pada GI 150 KV Weleri untuk periode 10 tahun kedepan.
2. Memberikan masukan terkait kondisi kelayakan operasi transformator daya pada GI 150 KV Weleri berdasarkan peramalan kapasitas transformator 10 tahun kedepan
3. Memberikan informasi kepada pembaca terkait metode terbaik untuk peramalan beban puncak transformator.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penulisan laporan tugas akhir menggunakan sistematika untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek pelaksanaan tugas akhir.

Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada Bab ini berisi latar belakang masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode dan sistematika penulisan.

<b>BAB II</b>	<b>: TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>
	Dalam bab ini penulis membahas mengenai dari penelitian sebelumnya dengan penelitian tugas akhir yang akan dibuat. Pada bab ini juga berisi mengenai dasar teori yang dapat mendukung untuk penelitian tugas akhir.
<b>BAB III</b>	<b>: METODOLOGI PENELITIAN</b>
	Bab ini membahas mengenai landasan yang kuat untuk membantu penelitian kepada pembaca dan penulis untuk memahami penelitian yang akan dilakukan, serta membahas mengenai desain dari penelitian tugas akhir, sampel pengumpulan data, metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir sehingga dapat menjadikan pembelajaran bagi pembaca.
<b>BAB IV</b>	<b>: HASIL DAN PEMBAHASAN</b>
	Pada Bab ini penulis secara khusus menerangkan tentang hasil yang diperoleh setelah melakukan pengambilan data yang telah di uji pada penelitian ini.
<b>BAB V</b>	<b>: PENUTUP</b>
	Berisi kesimpulan dari laporan tugas akhir dan saran untuk menyempurnakan laporan yang nantinya bias menjadi acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Syamsir (2018) pada penelitian yang berjudul **Analisis Peramalan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linear**. Untuk mengetahui periode masa pakai transformator pada gardu induk area Lenteng Agung, Jakarta Selatan dengan menggunakan metode regresi linear dan uji validasi dengan software minitab. Data yang diambil adalah beban puncak transformator pada siang dan malam hari selama 4 tahun yaitu dari 2014-2017 dengan periode waktu pengambilan selama 3 bulan sekali. Rentang waktu peramalan masa pakai transformator yang digunakan adalah selama 12 tahun yaitu dari 2018-2030. Hasil penelitian ini bahwa Trafo 1 dengan tipe JGK6 400 kVA tahun pemasangan 2006 memiliki masa pakai yang panjang hingga 2030 dengan sisa periode 1 tahun 9 bulan, nilai persentase beban puncaknya adalah 72,24 % pada siang hari dan 77,87% pada malam hari. Trafo 2 dengan tipe RG72 630 kVA tahun pemasangan 2008 memiliki masa pakai hanya sampai 2026 dengan sisa periode 1 tahun 9 bulan, nilai persentase beban puncaknya adalah 72,98 % pada siang hari dan 83,81% pada malam hari. Trafo 3 dengan tipe RG98P 400 kVA tahun pemasangan 2007 memiliki masa pakai sampai 2024 dengan sisa periode 1 tahun, nilai persentase beban puncaknya adalah 76,15 % pada siang hari dan 83,41 % pada malam hari. Trafo 3 dengan tipe RG168 630 kVA tahun pemasangan 2006 memiliki masa pakai yang panjang hingga 2027 dengan sisa periode 1 tahun , nilai persentase beban puncaknya adalah 78,44 % pada siang hari dan 81,08 % pada malam hari.

Menurut Nizar Rosyidi AS, Gilang Andika, dan Edy Supriyadi (2024) pada penelitian berjudul **Analisa Penurunan Usia Transformator 1250 kVA Akibat Pembebanan pada Transformator di Rumah Sakit Swasta**. Metode yang digunakan untuk perkiraan penurunan usia transformator 1250 kVA adalah metode regresi linear. Prediksi sisa usia pemakaian transformator yang terhubung panel LVMSB-1 pada tahun 2024 yang mulai beroperasi pada tahun 2008 adalah 4,96 tahun dengan persentase beban sebesar 90,63% yang dimana transformator tersebut

masih sesuai standar usia transformator berdasarkan SPLN 17 (1979) yaitu selama 20 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan, pembebanan sangat mempengaruhi susut usia transformator yang dimana transformator yang terhubung pada panel LVSMB-1 yang mulai beroperasi dari tahun 2008 tersebut hanya dapat beroperasi hingga tahun 2025 dengan sisa usia kurang dari 1 tahun dengan prediksi beban mencapai 103,03% dan titik suhu panas sebesar  $97,57^{\circ}\text{C}$  yang berarti dapat bertahan selama 17 tahun dari awal transformator tersebut beroperasi.

Menurut Nugraha dan Fauziah (2023) pada penelitian berjudul **Analisis Overload Transformator Distribusi di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut**. Untuk menganalisis metode perbaikan bagi kondisi overload pada Transformator Distribusi 100 kVA di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut dengan menggunakan cara memperkirakan nilai persentase beban puncak transformator dengan metode regresi linear dan metode uprating untuk mengatasi transformator yang overload. Hasil penelitian adalah perkiraan beban puncak transformator pada tahun 2032 adalah sebesar 126,08 kVA dengan persentase 126,08 % dimana nilai ini melebihi standar beban puncak yaitu sebesar 80 %. Sebelum dilakukan uprating, transformator 100kVA GI SKMR pada tahun 2022 sudah melebihi standar persentase beban yaitu dengan nilai sebesar 82,04%. Maka harus dilakukan uprating atau peningkatan kapasitas transformator sebesar 160 kVA yang akan menghasilkan persentase sebesar 51% pada tahun 2022 dan dapat terus digunakan sampai tahun 2032 dengan persentase beban puncak sebesar 78,80%.

Menurut Hasan Paleba (2023) pada penelitian berjudul **Perhitungan Proyeksi Beban Transformator Dalam Perencanaan Kapasitas Gardu Induk 150 Kv**. Penghitungan proyeksi dalam perencanaan kapasitas gardu induk adalah agar kebutuhan listrik dan pasokan listrik dapat seimbang. Khususnya di Gardu Induk 150 kV Bandar Sribhawono Lampung Timur. Metode Regresi Linier Berganda telah dirumuskan untuk menyelesaikan kasus ini. Gardu Induk Bandar Sribhawono Lampung Timur memiliki dua buah transformator berkapasitas 60 MVA. Proyeksi perencanaan 8 tahun ke depan akan mempertimbangkan apakah transformator pada gardu induk masih mampu melayani beban atau mengalami

kelebihan beban. Hasil penelitian prediksi jumlah penduduk dan PDRB 8 tahun ke depan akan selalu meningkat dengan menggunakan perhitungan peramalan/proyeksi, dengan asumsi kenaikan jumlah penduduk sebesar 1,1% dan PDRB sebesar 6% Menurut CSA (Badan Pusat Statistik) Lampung Timur jumlah penduduk tahun 2019 sebanyak 717 ribu jiwa orang, jika dihitung menggunakan perhitungan peramalan dengan persentase kenaikan setiap tahun sebesar 1,1%, maka jumlah penduduk 8 tahun mendatang pada tahun 2030 adalah sebanyak 803 ribu jiwa. Begitu pula perhitungan peramalan PDRB dengan persentase kenaikan 6% setiap tahunnya, tahun 2019 sebesar 41,6 juta, maka prediksi 8 tahun ke depan pada tahun 2030 adalah 79,4 juta. Kemudian beban pada transformator 1 mengalami beban rata-rata tahunan sebesar 34,8 MVA dan beban pada transformator II mengalami beban rata-rata tahunan sebesar 37,7 MVA. Pertumbuhan jumlah penduduk dan PDRB setiap tahunnya menjadi faktor peningkatan Beban transformator di GI Bandar Sribhawono Lampung Timur.

Menurut Murti (2022) pada penelitian berjudul **Aplikasi Matlab Dalam Analisis Susut Umur Transformator Distribusi Dengan Metode Montsinger Di PT PLN (Persero) ULP Pedan**. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi dan menghitung sisa umur transformator distribusi dengan menggunakan aplikasi matlab. Penelitian ini menggunakan metode montsinger. Data penelitian yang digunakan dari PT.PLN (Persero) ULP Pedan. Hasil dari penelitian ini adalah hasil dari perhitungan data pada transformator yaitu menunjukkan bahwa perhitungan sisa umur transformator diatas 20 tahun. Penelitian ini dilakukan pada transformator dengan persentase pembebanan diatas 80% dari kapasitas transformator. Hasil perhitungan sisa umur transformator adalah 21,4-38,6 tahun. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada 6 unit transformator distribusi menunjukkan bahwa perhitungan sisa umur trafo berbeban >80% yaitu pembebanan tertinggi adalah pada transformator dengan nomor tiang K1-17/16A dengan temperatur belitan saat siang hari 90,29°C dan pada malam hari adalah 102,60°C dengan prediksi sisa umur 28 tahun dengan tahun operasi 2 tahun. Pembebanan sangat mempengaruhi temperatur belitan yaitu semakin besar pembebanan maka semakin besar nilai temperatur belitannya dan akan mengakibatkan susut umur yang besar. Temperatur

belitan yang tinggi mengakibatkan isolasi dari penghantar (conductor) pada transformator akan mengakibatkan kerusakan dan memperpendek umur transformator. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan rata-rata pembebanan transformator distribusi di P.T PLN (Persero) di ULP Pedan adalah diatas 80% perhari. Dari perhitungan yang dilakukan prediksi sisa umur transformator rata-rata masih diatas 20 tahun atau bisa dikatakan sesuai dengan standar.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu jaringan yang kompleks, yang terdiri dari berbagai komponen yang bekerja bersama untuk menyediakan listrik kepada konsumen. Alur Sistem tenaga listrik ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Suswanto, 2009)



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Komponen utama dalam sistem tenaga listrik adalah:

#### A. Pembangkitan

Merupakan tahap awal dari sistem tenaga listrik, di mana energi listrik dihasilkan melalui berbagai sumber energi, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga surya, pembangkit listrik tenaga angin, dan lain-lain. Pembangkit listrik ini menghasilkan tenaga listrik dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan energi.

## B. Transmisi

Setelah tenaga listrik dihasilkan, listrik tersebut perlu disalurkan ke daerah-daerah yang membutuhkan melalui jaringan transmisi bertegangan tinggi (high voltage). Jaringan transmisi berfungsi untuk mengurangi kerugian daya selama perjalanan listrik dari pembangkit ke sub-stasiun distribusi. Tegangan yang tinggi digunakan untuk mengurangi arus dan, akibatnya, mengurangi kerugian daya akibat hambatan pada saluran transmisi.

## C. Distribusi

Setelah sampai di sub-stasiun, tegangan listrik diturunkan menjadi lebih rendah untuk disalurkan ke konsumen melalui jaringan distribusi. Distribusi listrik ini dilakukan melalui kabel-kabel tegangan rendah yang memasok daya ke rumah, kantor, industri, dan berbagai sektor lainnya. Dalam tahap distribusi, pengendalian dan pemantauan sangat penting untuk menjaga kualitas dan keandalan pasokan listrik.

## D. Beban

Beban adalah pengguna akhir dari tenaga listrik yang disalurkan melalui sistem distribusi. Beban bisa berupa rumah tangga, pabrik, gedung perkantoran, rumah sakit, dan lain sebagainya. Beban ini bisa bervariasi dalam kebutuhan listriknya tergantung pada waktu dan jenis penggunaan, dari konsumsi energi yang ringan hingga yang sangat besar.

### **2.2.2 Transformator**

Transformator adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi listrik dari satu tegangan dan arus ke tegangan dan arus lainnya, tetapi dengan daya yang tetap sama. Transformator daya yang digunakan pada gardu induk umumnya memiliki ukuran yang besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Transformator Distribusi

Perangkat ini sangat penting dalam sistem kelistrikan, karena dapat menyesuaikan tegangan sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Salah satu contoh penggunaannya adalah dalam pembangkit listrik, di mana transformator digunakan untuk menaikkan tegangan agar arus yang akan dialirkan melalui jalur transmisi berkurang. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kerugian energi akibat hambatan pada transmisi. Prinsip kerja transformator ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip **induksi elektromagnetik**. Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan pada sisi primer, ia menghasilkan medan magnet yang kemudian disalurkan melalui inti transformator (biasanya terbuat dari bahan besi untuk meningkatkan efisiensi). Medan magnet ini mempengaruhi kumparan sekunder, sehingga menghasilkan tegangan induksi. Perbedaan tegangan antara sisi primer dan sekunder dipengaruhi oleh perbedaan jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih

banyak daripada pada kumparan primer, maka tegangan yang dihasilkan di sisi sekunder akan lebih tinggi (meningkatkan tegangan). Sebaliknya, jika kumparan sekunder memiliki lilitan lebih sedikit, maka tegangan akan lebih rendah. Dengan kata lain, transformator daya menggunakan prinsip **rasio lilitan** untuk mengubah tegangan, sementara daya listrik yang diteruskan tetap sama, mengingat hukum daya yaitu  $P=V \times I$ , meskipun tegangan dan arus dapat berubah. (Sadi, 2020)

Berikut adalah bagian-bagian pada transformator :

#### A. Tangki Transformator

Tangki transformator berfungsi sebagai struktur atau kerangka tempat komponen-komponen transformator dipasang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

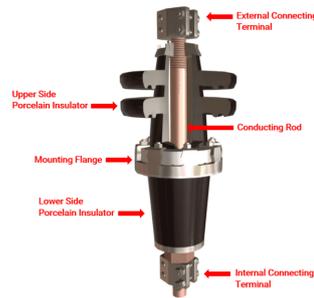


Gambar 2.4 Tangki Transformator

Selain itu, badan transformator juga memberikan perlindungan fisik terhadap bagian internalnya dan dapat dibuat dari material yang tahan terhadap kondisi lingkungan eksternal.

#### B. Bushing

Bushing adalah komponen yang digunakan untuk menghubungkan belitan transformator (kumparan primer  $V$  dan sekunder) dengan jaringan luar. Pada bushing terdapat beberapa bagian antara lain External Connecting Terminal, Internal Connecting Terminal, dan insulator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bushing

Bushing berfungsi sebagai penghubung antara komponen yang ada dalam transformator dengan bagian luar, sambil menjaga isolasi dan mencegah terjadinya hubungan arus pendek.

### C. Tangki Konservator

Tangki konservator adalah komponen yang berfungsi untuk menampung minyak transformator. Minyak ini digunakan sebagai isolator dan pendingin untuk menjaga suhu transformator tetap stabil. Bentuknya tabung yang dipasang secara horizontal dan memiliki bagian yang terhubung ke tangki transformator seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tangki Konservator

Selain itu, tangki konservator memiliki fungsi untuk menampung minyak yang bertambah volume akibat pemanasan selama operasi. Tangki ini dilengkapi dengan bagian transparan yang berfungsi untuk memantau level minyak dalam transformator.

#### D. Kumbaran Transformator

Kumbaran adalah bagian dapat mengubah arus listrik menjadi gaya magnet dan akan menginduksi kumbaran yang lain. Kumbaran terbuat dari kawat tembaga yang dililitkan ke inti transformator yang dilapisi dengan isolasi email untuk mencegah arus bocor atau hubungan pendek. Bentuk kumbaran transformator ditunjukkan pada Gambar 2.7.

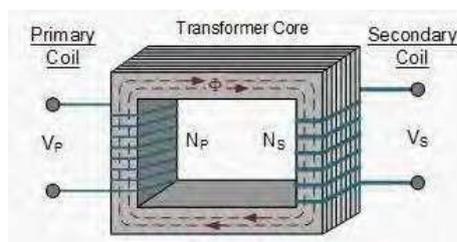


Gambar 2.7 Kumbaran Transformator

Fungsi kumbaran adalah untuk mengubah daya listrik menjadi fluks magnet yang kemudian dipindahkan ke kumbaran sekunder untuk dikembalikan menjadi daya listrik dengan tegangan yang diubah.

#### E. Inti Besi

Inti besi transformator memiliki peran sebagai penghantar fluks magnet yang dihasilkan oleh kumbaran primer menuju kumbaran sekunder. Inti ini terbuat dari lapisan besi silikon yang dirancang untuk meminimalkan kerugian energi dan memperkuat medan magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Inti Besi

Dengan adanya inti besi, proses induksi elektromagnetik dalam transformator menjadi lebih efisien.

#### F. Tap Changer

Tap changer adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah rasio lilitan kumparan pada transformator. Bentuknya menyerupai saklar yang dapat diputar menyesuaikan rasio tegangan yang dibutuhkan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tap Changer

Tujuan utama tap changer adalah untuk menjaga agar output tegangan yang dikeluarkan oleh transformator tetap stabil, meskipun terjadi perubahan beban atau kondisi operasi yang bervariasi.

#### G. Pendingin

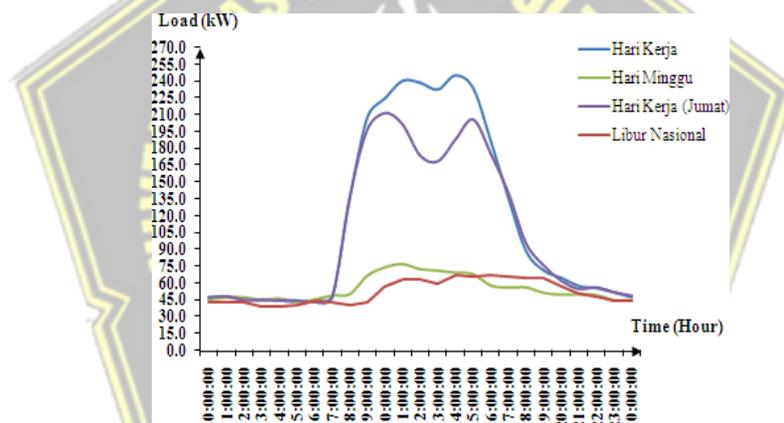
Kumparan dalam transformator menghasilkan panas saat mengalirkan arus listrik. Untuk menjaga agar transformator tidak mengalami kerusakan akibat suhu yang tinggi, sistem pendingin digunakan. Berbagai jenis pendingin pada transformator meliputi:

- **ONAN (Oil Natural Air Natural)** yaitu pendinginan dengan menggunakan minyak alami yang didinginkan dengan udara alami.
- **ONAF (Oil Natural Air Forced)** yaitu pendinginan dengan menggunakan minyak alami yang didinginkan oleh kipas udara paksa.
- **OFAN (Oil Forced Air Natural)** yaitu minyak dipompa untuk mendinginkan kumparan dan menggunakan udara alami untuk pendinginan.

Sistem pendinginan ini penting untuk memastikan bahwa transformator dapat beroperasi dengan efisien tanpa overheating yang dapat merusak komponen-komponennya.

### 2.2.3 Karakteristik Beban Listrik

Karakteristik beban merupakan representasi perilaku beban listrik dalam bentuk data yang menggambarkan perubahan konsumsi daya listrik (dalam satuan ampere, kW, atau MW) seiring berjalannya waktu dalam kurun waktu tertentu. Analisis terhadap karakteristik beban ini sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan sistem kelistrikan untuk memastikan bahwa pasokan energi cukup untuk memenuhi permintaan tanpa gangguan. Grafik kurva karakteristik beban ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva Karakteristik Beban

Kurva karakteristik beban listrik adalah representasi grafik dari karakteristik beban yang menggambarkan hubungan antara daya listrik yang digunakan (biasanya dalam satuan kW, MW, atau ampere) dengan waktu (menit atau jam). Kurva beban ini membantu dalam analisis untuk mengetahui pola konsumsi listrik pada berbagai waktu dan memprediksi kebutuhan daya di masa mendatang. (Rohmat and Riyadi, 2023)

#### 2.2.4 Peramalan Beban Puncak dengan Metode Regresi Linear Sederhana

Beban puncak listrik adalah jumlah daya listrik maksimum yang diperlukan pada waktu tertentu dalam suatu sistem kelistrikan, misalnya pada saat musim panas ketika penggunaan pendingin udara meningkat atau pada malam hari saat sebagian besar konsumen di sektor rumah tangga menggunakan peralatan listrik seperti lampu, televisi, dan peralatan rumah tangga lainnya.

Peramalan beban puncak adalah suatu metode untuk memprediksi berapa banyak daya listrik yang akan dibutuhkan pada waktu puncak tertentu di masa depan. Peramalan ini sangat penting bagi perusahaan penyedia listrik (seperti PLN di Indonesia) untuk merencanakan pembangkit, transmisi, distribusi, serta pengelolaan sistem kelistrikan dengan lebih efisien dan efektif.

**Analisis regresi linier** adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk menguji dan mengukur hubungan antara satu variabel bebas (independen) dengan satu atau lebih variabel terikat (dependen). Dengan kata lain, regresi linier digunakan untuk menentukan apakah ada hubungan linier antara dua atau lebih variabel dan seberapa kuat hubungan tersebut. **Variabel independen (X)** adalah variabel yang digunakan untuk menjelaskan atau mempengaruhi variabel dependen. Dalam kasus beban listrik, variabel independen bisa berupa faktor-faktor *seperti suhu, hari dalam minggu, atau waktu*. **Variabel dependen (Y)** adalah variabel yang ingin diprediksi atau dijelaskan. Dalam konteks peramalan beban listrik, misalnya, variabel dependen bisa berupa *beban listrik*. (Rani and Arlianti, 2024)

Persamaan Regresi Linear Sederhana ditunjukkan pada Persamaan 2-1.

$$Y = a + bx \quad (2-1)$$

yang mana :

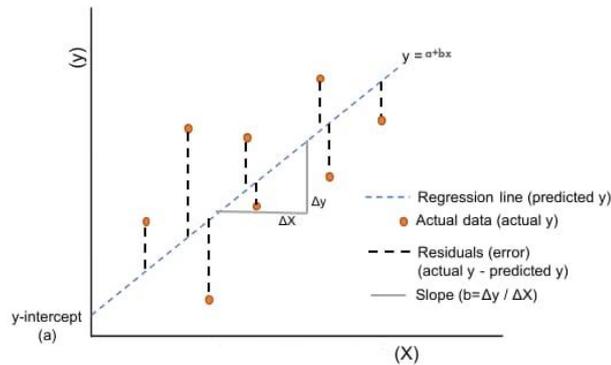
$Y$  = garis regresi/ variable *response*

$a$  = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal

$b$  = konstanta regresi (*slope*)

$X$  = variabel bebas/ *predictor*

Hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen dapat direpresentasikan menjadi sebuah garis regresi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Garis Regresi

Besarnya konstanta  $a$  dan  $b$  dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2-2 dan Persamaan 2-3.

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y) (\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X) (\sum_{i=1}^n X \cdot Y)}{(n) (\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2} \quad (2-2)$$

$$b = \frac{(n) (\sum_{i=1}^n X \cdot Y) - (\sum_{i=1}^n X) (\sum_{i=1}^n Y)}{(n) (\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2} \quad (2-3)$$

Dimana :

$\sum X$  = Jumlah pengambilan data

$\sum Y$  = Jumlah beban transformator pertahun

$n$  = Banyaknya variabel X dan Y

### 2.2.5 Peramalan Beban dengan Metode Dekomposisi

Metode dekomposisi adalah teknik peramalan yang digunakan untuk memecah data deret waktu (time series) menjadi beberapa komponen utama. (Yuni, Talakua and Lesnussa, 2015)

Keempat komponen tersebut adalah:

1. **Trend (Tren):** Menunjukkan pola jangka panjang dalam data, yang bisa berupa kenaikan atau penurunan yang konsisten sepanjang waktu. Trend menggambarkan arah umum data dalam periode yang lebih panjang.

2. **Musiman (Seasonal):** Mengacu pada pola yang berulang secara periodik dalam suatu tahun, bulan, atau minggu. Komponen ini terkait dengan fluktuasi yang terjadi secara teratur dan dapat diprediksi berdasarkan waktu tertentu, seperti perubahan cuaca, liburan, atau faktor lainnya yang terjadi pada interval waktu yang tetap.
3. **Siklus (Cyclical):** Merujuk pada pola fluktuasi dalam data yang terjadi dalam periode yang lebih panjang dan tidak tetap, seperti dalam jangka waktu beberapa tahun. Pola siklus ini bisa dipengaruhi oleh faktor ekonomi, politik, atau perubahan besar dalam masyarakat. Biasanya, siklus tidak memiliki frekuensi yang tetap seperti musiman.
4. **Error (Kesalahan):** Komponen ini merujuk pada fluktuasi acak atau kesalahan yang tidak dapat diprediksi, seperti ketidakpastian yang tidak dapat dijelaskan oleh komponen lain (trend, musiman, atau siklus). Error mencakup faktor-faktor yang tidak terduga yang memengaruhi data.

Metode dekomposisi bertujuan untuk mengidentifikasi dan memisahkan setiap komponen ini, sehingga peramalan masa depan bisa lebih akurat dengan mempertimbangkan pola yang ada di dalam data historis. (Novanda and Hidayati, 2024)

Secara umum, ada dua pendekatan utama dalam dekomposisi:

- **Dekomposisi aditif:** Ketika perubahan musiman dan tren tidak bergantung pada nilai data (misalnya, fluktuasi musiman tetap meskipun nilai data lebih besar atau lebih kecil). Persamaan dekomposisi aditif ditunjukkan pada Persamaan 2-4.

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (2-4)$$

- **Dekomposisi multiplikatif:** Ketika perubahan musiman dan tren bergantung pada nilai data, artinya fluktuasi musiman meningkat atau menurun seiring

dengan perubahan nilai data. Persamaan dekomposisi multiplikatif ditunjukkan pada Persamaan 2-5.

$$Y_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t \quad (2-5)$$

Dengan memecah data menjadi komponen-komponen ini, kita dapat melakukan peramalan yang lebih efektif dan memahami faktor-faktor yang memengaruhi data dengan lebih baik.

Dalam peramalan menggunakan metode dekomposisi dilakukan dengan beberapa tahapan atau langkah-langkah sebagai berikut :

A. Memisahkan data

Pada peramalan menggunakan metode dekomposisi, ketika pola musiman yang digunakan adalah **12 bulan**, rata-rata bergerak yang panjangnya sama dengan panjang musiman (12 bulan) dihitung untuk mengidentifikasi komponen tren dan musiman dari data. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memisahkan komponen musiman dari data deret waktu yang sebenarnya, sehingga pola musiman dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Dengan demikian, indeks musiman yang dihitung dapat membantu dalam meramalkan tren di masa depan dengan memperhitungkan faktor musiman yang mempengaruhi data. Persamaan rata-rata bergerak dengan periode 12 bulan ditunjukkan oleh Persamaan 2-6.

$$M_t = \frac{Y_{t-5} + Y_{t-4} + Y_{t-3} + Y_{t-2} + Y_{t-1} + Y_t + Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3} + Y_{t+4} + Y_{t+5} + Y_{t+6}}{12} \quad (2-6)$$

Dari persamaan 2-5, dapat diubah menjadi Persamaan 2-7.

$$S_t \times I_t = \frac{Y_t}{T_t \times C_t} \quad (2-7)$$

Diketahui persamaan dari rata-rata bergerak dan indeks musiman yang ditunjukkan pada Persamaan 2-8 dan 2-9.

$$M_t = T_t \times C_t \quad (2-8)$$

$$Z_t = S_t \times I_t \quad (2-9)$$

Maka berdasarkan Persamaan 2-8 dan Persamaan 2-9, diketahui persamaan indeks musiman yang ditunjukkan pada Persamaan 2-10.

$$Z_t = \frac{Y_t}{M_t} \quad (2-10)$$

Dimana

$Y_t$  = Nilai aktual data pada periode t

$M_t$  = Rata-rata bergerak

$T_t$  = Komponen tren

$S_t$  = Komponen Musiman

$C_t$  = Komponen Siklus

$I_t$  = Komponen Error

$Z_t$  = Indeks Musiman

#### B. Menghitung Komponen Musiman

Proses ini dilakukan dengan cara menyusun data indeks musiman berdasarkan bulan. Kemudian melakukan perhitungan rata-rata bulanan untuk setiap tahun. Selanjutnya, komponen musiman dihitung dengan mengalikan rata-rata yang diperoleh dengan faktor penyesuaian berdasarkan pola musiman seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2-11.

$$RK_t = \frac{\sum_{i=1}^n Z_n}{n}$$

$$FP = \frac{\sum_{i=1}^n RK_t}{12} \quad (2-11)$$

$$S_t = RK_t \times FP$$

Dimana

$S_t$  = Komponen Musiman

$RK_t$  = Rerata indeks musiman per bulan

$FP$  = Faktor Penyesuaian

$Z_t$  = Indeks Musiman

### C. Menentukan tren yang digunakan

Dalam konteks **peramalan beban puncak gardu induk**, komponen tren merujuk pada komponen yang menggambarkan kecenderungan jangka panjang dari data beban puncak tersebut. Komponen ini dapat ditentukan dengan menggunakan **garis regresi** yang dapat berbentuk **linier** atau **non-linier**, tergantung pada sifat data yang ada.

Cara menentukan tren yang digunakan adalah dengan menghitung besar nilai koefisien korelasi linier dan non linier/eksponensial. Apabila nilai koefisien korelasi linier lebih besar maka tren yang digunakan adalah tren regresi linear. Sedangkan apabila nilai koefisien non linier yang lebih besar maka menggunakan tren eksponensial.

Persamaan untuk menghitung koefisien korelasi linier ditunjukkan pada Persamaan 2-12.

$$rl = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n Y_t)^2]} \quad (2-12)$$

Sedangkan persamaan untuk menghitung koefisien korelasi non linier ditunjukkan pada Persamaan 2-13.

$$re = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot \ln Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n \ln Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)^2]} \quad (2-13)$$

Persamaan garis regresi atau komponen tren ( $T_t$ ) adalah sebagai berikut :

- Persamaan regresi linear seperti pada Persamaan 2-14.

$$T_t = a + b \cdot t \quad (2-14)$$

- Persamaan regresi non linear/eksponensial seperti pada Persamaan 2-15.

$$T_t = e^{(a + b \cdot t)} \quad (2-15)$$

#### D. Menghitung Komponen Siklus ( $C_t$ )

**Komponen siklus** dalam analisis deret waktu mengacu pada pola fluktuasi yang terjadi dalam data dalam periode waktu tertentu, namun berbeda dengan **komponen musiman**. Komponen siklus menggambarkan fluktuasi yang lebih panjang dan tidak tetap secara periodik seperti musiman, yang biasanya dipengaruhi oleh faktor ekonomi, politik, atau kondisi makroekonomi lainnya. Persamaan Komponen siklus ditunjukkan pada Persamaan 2-16.

$$C_t = \frac{M_t}{T_t} \quad (2-16)$$

#### E. Menghitung Ramalan

Merupakan tahap terakhir dalam metode tren dekomposisi. Karena komponen error sudah dihilangkan, maka persamaan peramalannya menjadi seperti yang ada pada Persamaan 2-17.

$$F_t = T_t \times S_t \times \text{Rata-rata } C_t \quad (2-17)$$

#### 2.2.6 Persentase Beban Transformator

Dengan menghitung persentase pembebanan, dapat menentukan seberapa efisien transformator tersebut beroperasi dalam kondisi nyata. Pembebanan yang terlalu rendah dapat mengindikasikan pemanfaatan yang tidak optimal, sedangkan pembebanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan transformator cepat rusak akibat overloading. Oleh karena itu, penting untuk mengatur kapasitas pembebanan agar sesuai dengan kebutuhan beban konsumen secara optimal. (Azis and Lembang, 2022)

Persentase pembebanan transformator daya dapat dihitung dengan Persamaan 2-18.

$$\text{Persentase Beban} = \frac{\text{Daya Pembebanan}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \quad (2-18)$$

Dimana:

- **Daya Pembebanan** adalah daya yang digunakan oleh beban yang terhubung dengan transformator pada waktu tertentu.
- **Kapasitas** Transformator adalah daya maksimum yang dapat disuplai oleh transformator tanpa melebihi batas kapasitas desainnya.

### 2.2.7 MAPE

**MAPE** (Mean Absolute Percentage Error) adalah salah satu metrik yang digunakan untuk mengukur **akurasi prediksi** dalam analisis peramalan (forecasting). MAPE mengukur seberapa besar **kesalahan rata-rata** antara nilai yang diprediksi dengan nilai aktual dalam bentuk persentase. Persamaan MAPE ditunjukkan pada Persamaan 2-19. (Nabillah and Ranggadara, 2020)

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) 100\% \right|}{n} \quad (2-19)$$

Dimana

n = jumlah data

A<sub>t</sub> = Nilai Sebenarnya

F<sub>t</sub> = Nilai peramalan

Semakin rendah nilai MAPE, kemampuan dari model peramalan yang digunakan dapat dikatakan baik, dan untuk MAPE terdapat range nilai yang dapat dijadikan bahan **pengukuran** mengenai kemampuan dari suatu model peramalan, range nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. (Husdi and Dalai, 2023)

Tabel 2.1 Range nilai MAPE

Range MAPE	Keterangan
<10%	Hasil Peramalan sangat akurat
10% - 20%	Hasil peramalan baik
20% - 50%	Hasil peramalan layak
>50%	Hasil peramalan tidak akurat

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan data yang bersifat numerik yaitu data beban puncak transformator 60 MVA Gardu Induk 150/20 KV tahun 2020-2024 dan kemudian diolah dengan persamaan matematis yaitu metode regresi linear sederhana dan metode dekomposisi guna meramalkan beban puncak transformator 60 MVA pada Gardu Induk 150/20 KV Weleri. Data input yang digunakan dalam perhitungan adalah data beban bulanan transformator tahun 2020-2023. Sedangkan data beban bulanan transformator 60 MVA tahun 2024 digunakan sebagai data uji / perbandingan dengan hasil peramalan. Peramalan beban bulanan tahun 2024 menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode dekomposisi. Selanjutnya membandingkan nilai akurasi metode peramalan dengan perhitungan MAPE dan diambil metode yang terbaik untuk kemudian digunakan menghitung ramalan nilai beban puncak transformator 60 MVA tahun 2025-2034. Tahap terakhir adalah dilakukan analisa hasil peramalan beban puncak transformator 60 MVA pada Gardu Induk 150 KV Weleri.

#### **3.1 Tempat Penelitian**

Pada penelitian ini transformator yang akan diramalkan beban puncaknya adalah pada gardu induk 150 KV Weleri yang terletak pada daerah Kabupaten Kendal bagian barat atau tepatnya pada Jl. Tamtama No.12 Desa. Penyangkringan Kecamatan Weleri Kab. Kendal, Jawa Tengah. Lokasi penelitian dilihat dari maps ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi GI 150 KV Weleri

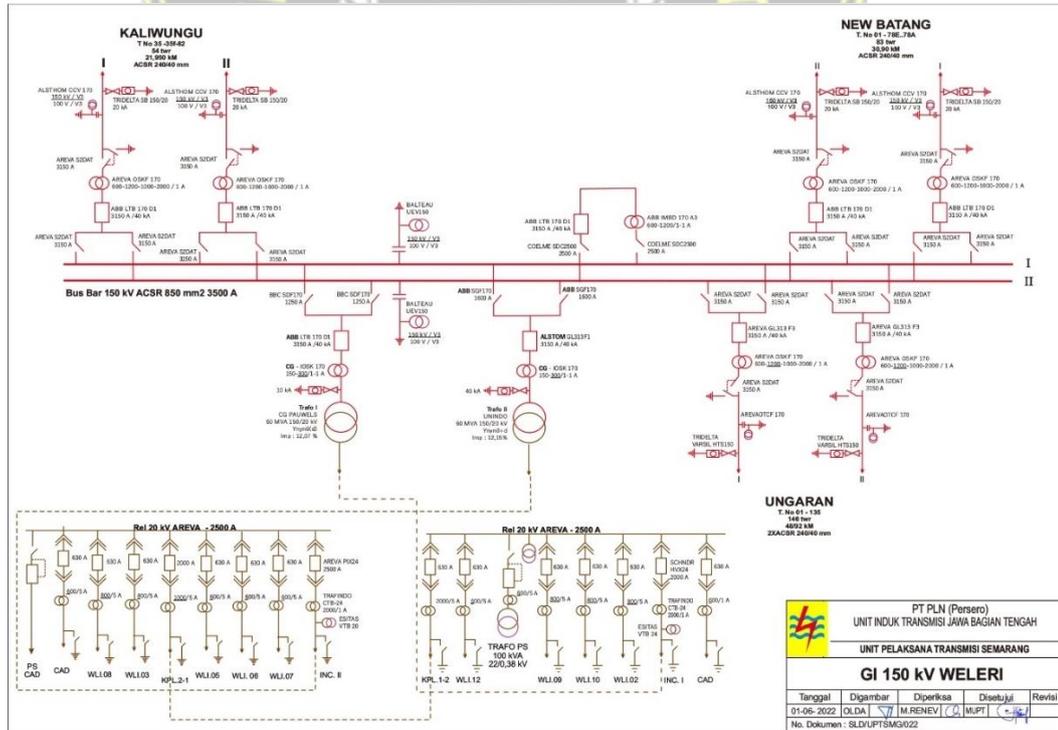
Lokasi sebenarnya dari Gardu Induk 150 KV Weleri ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 GI 150 KV Weleri

### 3.2 Single line Gardu Induk 150 KV Weleri

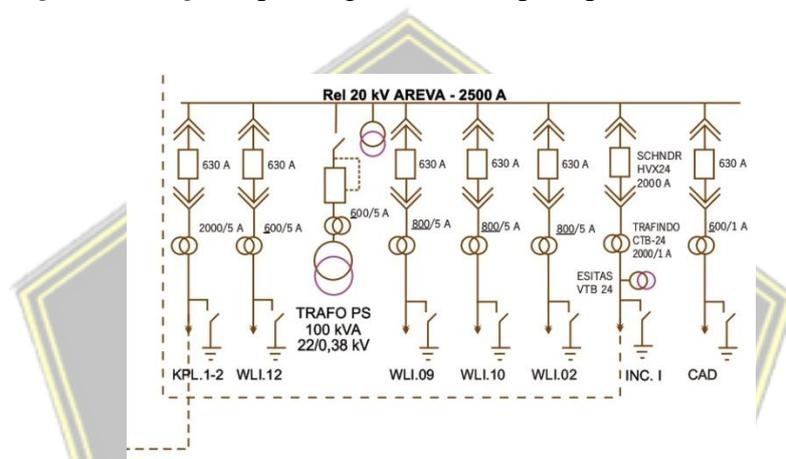
Gardu Induk Weleri merupakan pelimpahan beban dari gardu induk Kaliwungu dan Gardu Induk Weleri melimpahkan beban ke Gardu Induk Batang, Gambar 3.3 menunjukkan gambar single line Gardu Induk Weleri.



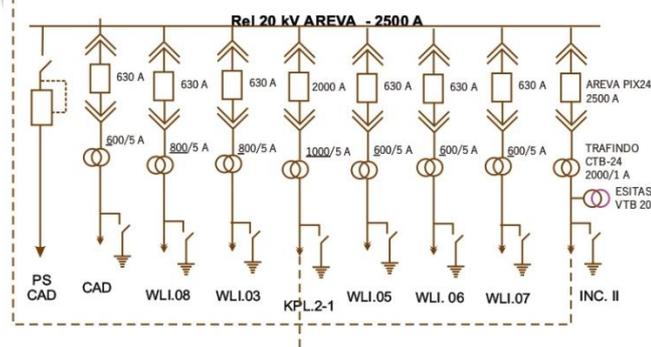
Gambar 3.3 Single Line Diagram GI 150 KV Weleri

Gardu induk Weleri memiliki dua buah Transformator dengan masing-masing memiliki kapasitas sebesar 60 MVA. Dua Transformator ini memiliki sistem pendingin ONAF dan OFAF yaitu pendinginan minyaknya secara paksa, sirkulasi minyak memakai kekuatan pompa dan juga pendingin udara di radiator secara paksa oleh kipas udara.

Dari *Single Line Diagram* Gardu Induk Kaliwungu pada Gambar 3.3 diatas terdapat diagram pembagian beban untuk masing – masing transformator unit 1 dan unit 2, *single line diagram* pembagian beban seperti pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Diagram Pembagian Beban Pada Transformator 1



Gambar 3.5 Diagram Pembagian Beban Pada Transformator 2

### 3.3 Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang penulis gunakan untuk melakukan penelitian ini antara lain :

#### A. Wawancara

Pada tahap ini penulis melakukan pengumpulan data dengan mewawancarai kepada beberapa pegawai bagian Operasional di Gardu Induk 150 KV Weleri. Metode ini merupakan serangkaian tanya jawab tentang transformator yang ada pada Gardu Induk 150 KV Weleri.

#### B. Observasi

Pada tahap ini penulis melakukan pengumpulan data terutama tentang transformator meliputi spesifikasi, single line diagram, data pembebanan selama 5 tahun terakhir. Namun pada penelitian ini tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran secara langsung, jadi penulis mengambil data sekunder yaitu arsip atau catatan tentang data spesifikasi, single line diagram, pembebanan Transformator yang ada pada gardu induk tersebut.

#### C. Dokumentasi

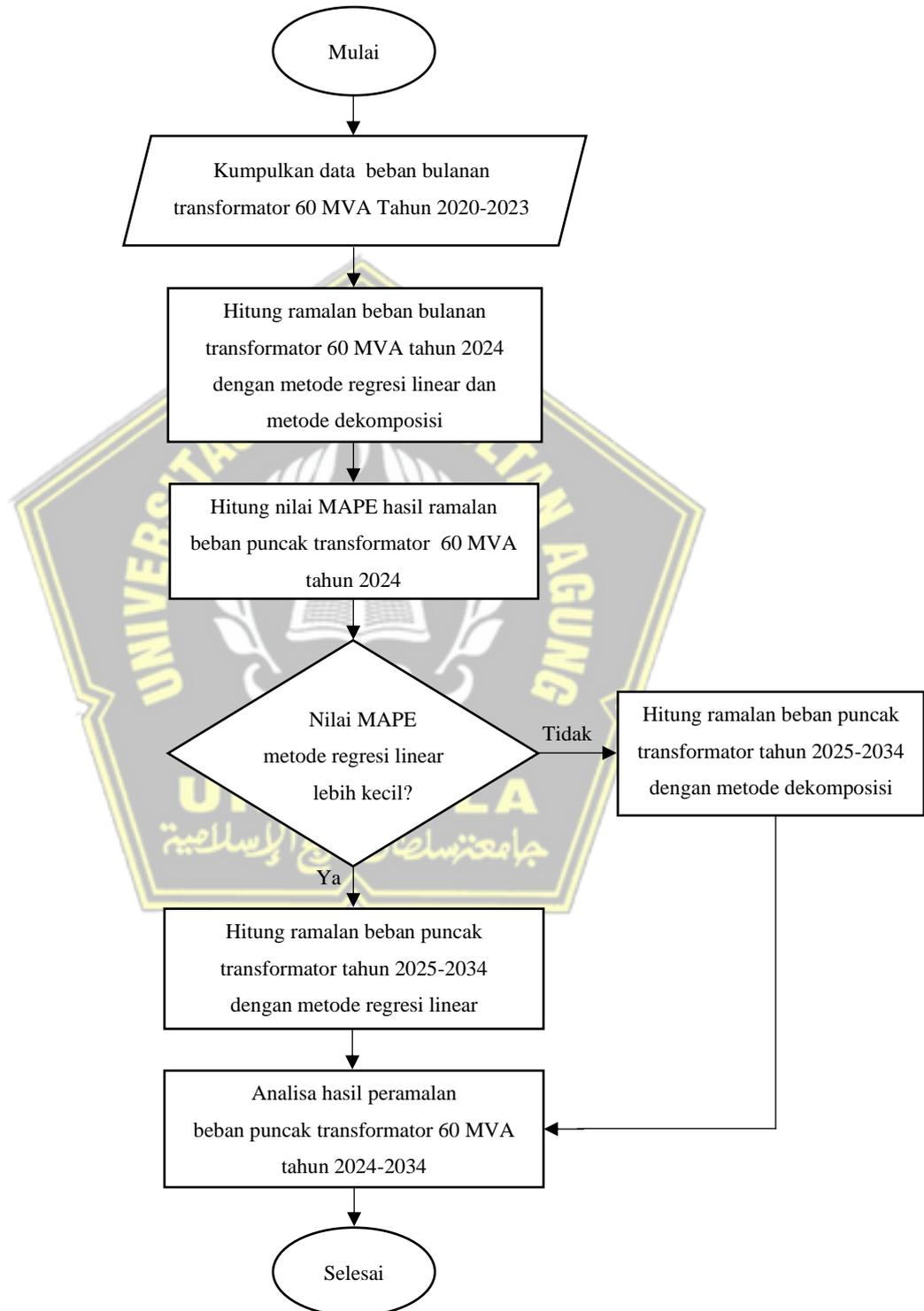
Penulis mengumpulkan beberapa penelitian yang relevan seperti studi literatur, jurnal, proposal dan buku-buku dari berbagai sumber dengan teman yang hampir sama dengan penelitian ini.

Data penelitian yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut :

- A. Data beban puncak transformator selama 10 tahun terakhir.
- B. Spesifikasi transformator.

### 3.4 Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flowchart Penelitian

### 3.5 Data Penelitian

#### 3.5.1 Spesifikasi Transformator

Pada Gardu Induk 150/20 KV Weleri terdapat 2 buah transformator dengan spesifikasi sebagai berikut :

##### A. Transformator 1

Berikut adalah spesifikasi transformator 1 :

Merek	: CG Pauwels
Standar	: IEC 60076
Rating Daya	: 36/60 MVA
Nomor Seri	: 3011150039
Tahun Pembuatan	: 2016
Type of Oil	: NYNAS NYTRO LIBRA
Phase	: 3
Tipe pendingin	: ONAN/ONAF
Kelompok Vektor	: YNyn0+d
Max. Altitude	: 1000m
Frekuensi	: 50 Hz

##### B. Transformator 2

Berikut adalah spesifikasi transformator 2 :

Merek	: UNINDO
Standar	: IEC 60076
Rating Daya	: 36/60 MVA
Nomor Seri	: P0244
Tahun Pembuatan	: 2016
Type of Oil	: NYNAS NYTRO LIBRA
Phase	: 3
Tipe pendingin	: ONAN/ONAF
Kelompok Vektor	: YNyn0+d
Max. Altitude	: 1000m
Frekuensi	: 50 Hz

### 3.5.2 Data Beban Puncak Transformator

#### A. Data Beban Transformator 1

Data beban puncak transformator 1 tahun 2020-2024 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 – 3.5.

Tabel 3.1 Data Beban Transformator 1 Tahun 2020

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1		
	MW	MVAR	MVA
Januari	24,1	11,1	26,5
Februari	23,5	8,6	25,0
Maret	20	5	20,6
April	37,3	11,8	39,1
Mei	21	3	21,2
Juni	27,1	10	28,9
Juli	20,2	3,1	20,4
Agustus	22	3	22,2
September	17,2	4,3	17,7
Oktober	20	7	21,2
November	21,3	8,1	22,8
Desember	24,6	4,4	25,0

Tabel 3.2 Data Beban Transformator 1 Tahun 2021

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1		
	MW	MVAR	MVA
Januari	14,4	5,3	15,3
Februari	26,4	4,1	26,7
Maret	28,5	9,3	30,0
April	20,8	3,1	21,0
Mei	17,4	5,8	18,3
Juni	20,5	3,5	20,8
Juli	17	3	17,3
Agustus	29,4	4	29,7
September	22,7	4,1	23,1
Oktober	23	7	24,0
November	18	7	19,3
Desember	21	1	21,0

Tabel 3.3 Data Beban Transformator 1 Tahun 2022

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1		
	MW	MVAR	MVA
Januari	14,4	5,3	15,3
Februari	17,4	6,5	18,6
Maret	19	3	19,2
April	19	3	19,2
Mei	21	3,3	21,3
Juni	27	8	28,2
Juli	45	17	48,1
Agustus	28	5	28,4
September	21	2	21,1
Oktober	25	10	26,9
November	24	3	24,2
Desember	24	3	24,2

Tabel 3.4 Data Beban Transformator 1 Tahun 2023

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1		
	MW	MVAR	MVA
Januari	27	9	28,5
Februari	19,6	2,6	19,8
Maret	23	4,6	23,5
April	16	6	17,1
Mei	21	5	21,6
Juni	40	13	42,1
Juli	14,9	3,6	15,3
Agustus	20,4	4,5	20,9
September	21	4,5	21,5
Oktober	25	5	25,5
November	25	5	25,5
Desember	24,6	4,3	25,0

Tabel 3.5 Data Beban Transformator 1 Tahun 2024

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1		
	MW	MVAR	MVA
Januari	24,6	4,5	25,0
Februari	28	10	29,7
Maret	40	14	42,4
April	23	7	24,0
Mei	25	9	26,6
Juni	25,4	8,4	26,8
Juli	27,4	8,4	28,7
Agustus	26,4	10,5	28,4
September	29	5	29,4
Oktober	36	13	38,3
November	34	16	37,6
Desember	36,8	10,8	38,4

B. Data Beban Transformator 2

Data beban puncak transformator 2 tahun 2020-2024 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 – 3.10.

Tabel 3.6 Data Beban Transformator 2 Tahun 2020

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2		
	MW	MVAR	MVA
Januari	32,7	8,7	33,8
Februari	37,3	12	39,2
Maret	40	13	42,1
April	36	12	37,9
Mei	35,4	11,6	37,3
Juni	34,6	11,1	36,3
Juli	38,3	12,4	40,3
Agustus	35,1	11	36,8
September	37	11,5	38,7
Oktober	37	11,5	38,7
November	41,3	13,7	43,5
Desember	37	11	38,6

Tabel 3.7 Data Beban Transformator 2 Tahun 2021

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2		
	MW	MVAR	MVA
Januari	39	12	40,8
Februari	33,4	10,1	34,9
Maret	34,3	9,8	35,7
April	39,3	12,6	41,3
Mei	39,9	13,1	42,0
Juni	43,5	14,5	45,9
Juli	39	13	41,1
Agustus	41	13	43,0
September	41,3	14,1	43,6
Oktober	43	14	45,2
November	39	13	41,1
Desember	39	13	41,1

Tabel 3.8 Data Beban Transformator 2 Tahun 2022

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2		
	MW	MVAR	MVA
Januari	39	12	40,8
Februari	39	12	40,8
Maret	41,7	13,9	44,0
April	41,7	13,9	44,0
Mei	39,9	10,2	41,2
Juni	38	11,2	39,6
Juli	34	8	34,9
Agustus	34	8	34,9
September	38	12	39,8
Oktober	37	12	38,9
November	37	7	37,7
Desember	39	12	40,8

Tabel 3.9 Data Beban Transformator 2 Tahun 2023

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2		
	MW	MVAR	MVA
Januari	33	8	34,0
Februari	38	10	39,3
Maret	42	13	44,0
April	45	14	47,1
Mei	46	14	48,1
Juni	42	13	44,0
Juli	41	13	43,0
Agustus	41	13	43,0
September	41	13	43,0
Oktober	42	14	44,3
November	38	12	39,8
Desember	40	12,5	41,9

Tabel 3.10 Data Beban Transformator 2 Tahun 2024

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2		
	MW	MVAR	MVA
Januari	36,7	11,9	38,6
Februari	46	21	50,6
Maret	44	13	45,9
April	41	12	42,7
Mei	43	14	45,2
Juni	44	14	46,2
Juli	40	14	42,4
Agustus	43	13	44,9
September	39	12	40,8
Oktober	49	20	52,9
November	46	16	48,7
Desember	46	17	49,0

## **BAB IV**

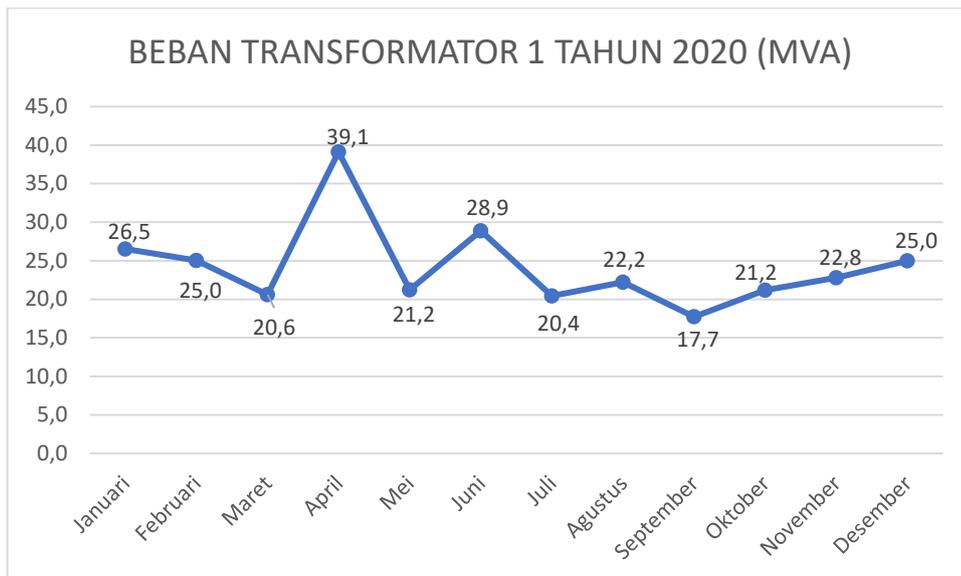
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang tahapan peramalan beban puncak transformator yang ada pada gardu induk 150 KV Weleri. Ada dua metode yang akan digunakan yaitu metode regresi linear dan metode dekomposisi. Beban yang akan diramalkan menggunakan skala waktu bulanan dan akan diambil nilai tertinggi dari setiap tahun berdasarkan hasil peramalan beban bulanan yang telah didapatkan. Sebelum meramalkan beban puncak transformator pada 10 tahun mendatang, kita akan menguji akurasi peramalan pada setiap metodenya dengan menggunakan metode MAPE. Data yang akan digunakan dalam perhitungan adalah data beban bulanan dari tahun 2020 sampai tahun 2023 yang berarti terdapat 48 data. Sedangkan untuk menguji akurasi peramalan, kita membandingkan data peramalan beban bulanan pada tahun 2024 dengan data aktual beban bulanan tahun 2024 yang ada. Metode dengan nilai MAPE terendahlah yang akan kita pilih sebagai metode untuk meramalkan beban puncak transformator GI 150 KV Weleri pada masa 10 tahun mendatang. Karena pada GI 150 KV weleri terdapat 2 transformator, maka kita akan meramalkan beban puncak kedua transformator dan akan dipisah peramalan setiap transformator, karena bisa jadi pada transformator 1 lebih cocok menggunakan metode regresi linear, sedangkan pada transformator 2 lebih cocok menggunakan metode dekomposisi ataupun sebaliknya. Bisa juga ternyata kedua transformator lebih cocok menggunakan metode regresi linear ataupun sebaliknya.

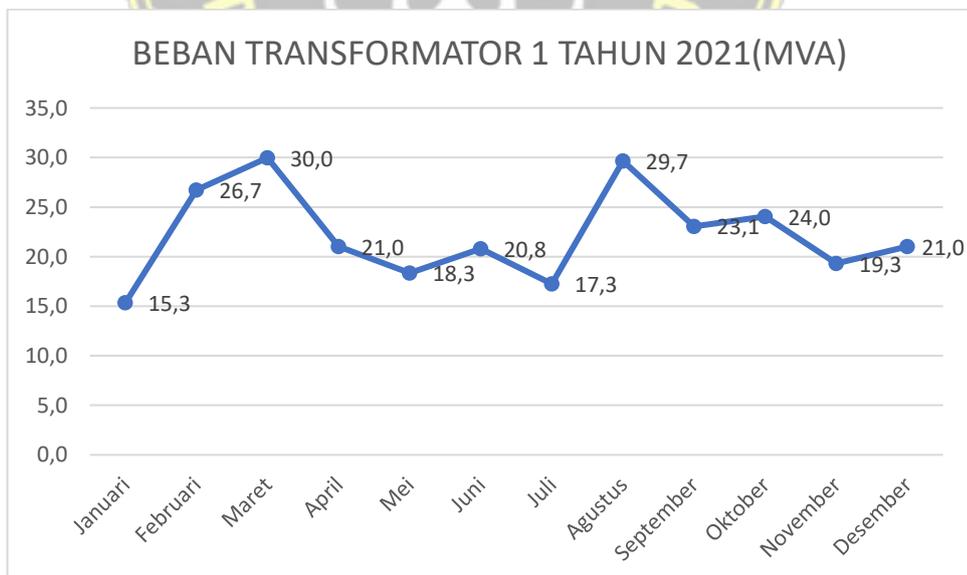
## 4.1 Peramalan Beban Transformator 1

### 4.1.1 Beban Transformator 1 pada masa lampau

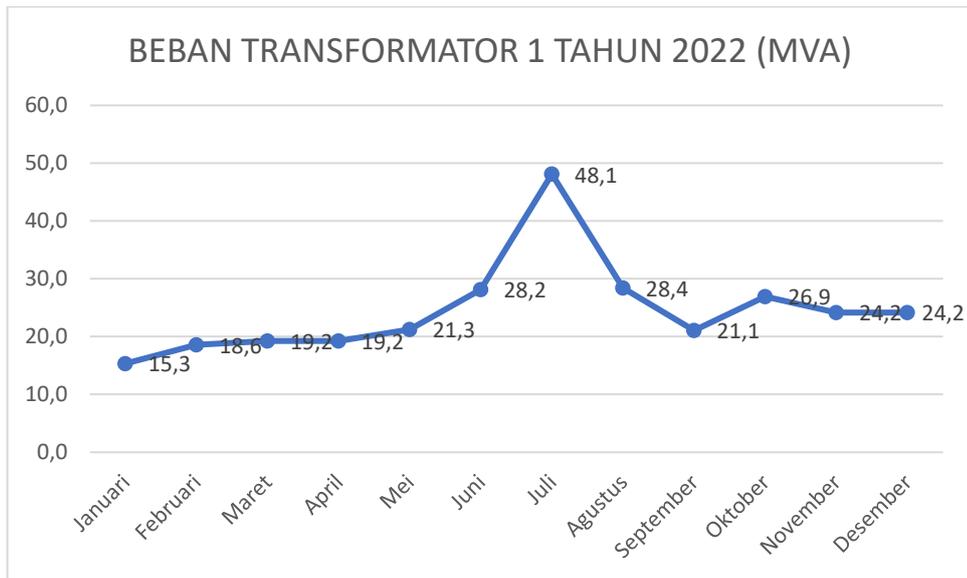
Grafik pembebanan pada transformator 1 periode tahun 2020-2024 ditunjukkan oleh Gambar 4.1 – 4.5.



Gambar 4.1 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2020



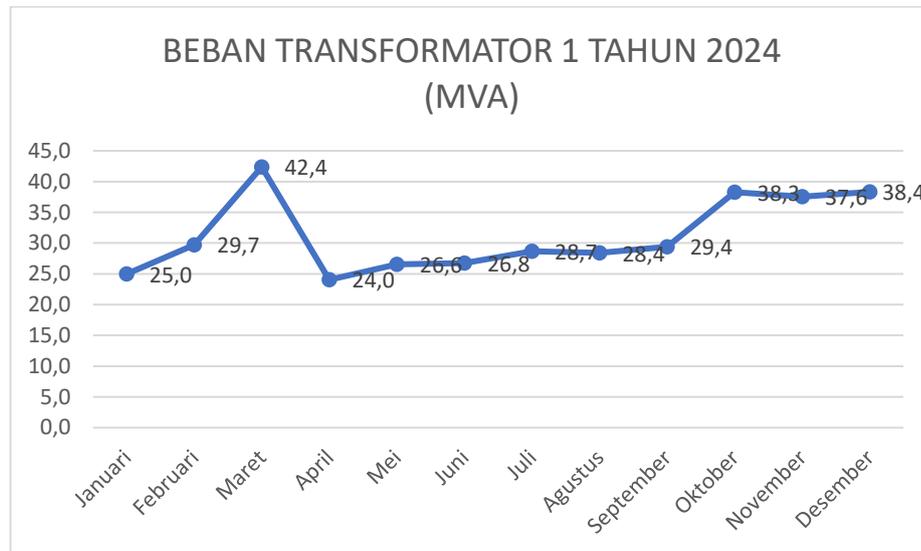
Gambar 4.2 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2021



Gambar 4.3 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2022



Gambar 4.4 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2023



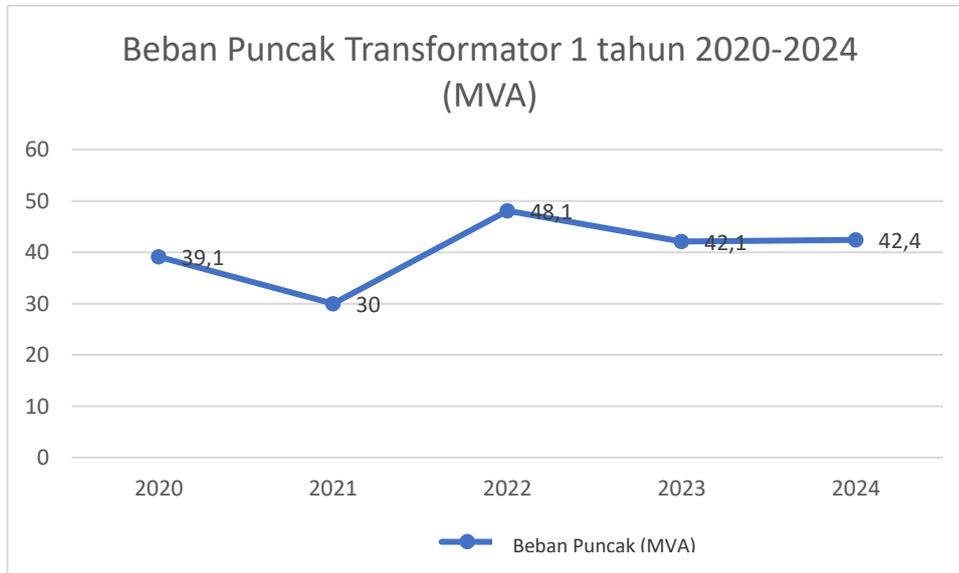
Gambar 4.5 Grafik Beban Transformator 1 tahun 2024

Terlihat pada grafik pembebanan bahwa beban bulanan pada masing-masing tahun mulai dari 2020-2024 bersifat fluktuatif atau naik turun. Beban puncak pada tahun 2020 terjadi pada bulan April dengan nilai beban sebesar 39,1 MVA. Beban puncak pada tahun 2021 terjadi pada bulan Maret dengan nilai beban sebesar 30 MVA. Beban puncak pada tahun 2022 terjadi pada bulan Juli dengan nilai beban sebesar 48,1 MVA. Beban puncak pada tahun 2023 terjadi pada bulan Juni dengan nilai beban sebesar 42,1 MVA. Beban puncak pada tahun 2024 terjadi pada bulan Maret dengan nilai beban sebesar 42,4 MVA. Beban puncak transformator 1 tahun 2020-2024 ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Beban Puncak Trafo 1 tahun 2020-2024

NO	TAHUN	BEBAN PUNCAK (MVA)
1	2020	39,1
2	2021	30
3	2022	48,1
4	2023	42,1
5	2024	42,4

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dibuat grafik beban puncak tahun 2020-2024 seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Beban Transformator 1

Berdasarkan grafik diatas, diketahui bahwa beban puncak transformator 1 bersifat fluktuatif atau naik turun. Hal ini terjadi karena pengaruh Pandemi COVID-19 yang mengakibatkan beberapa sektor seperti industri harus melaksanakan WFH (Work From Home) dan mempengaruhi turunnya pemakaian daya listrik terutama pada tahun 2021 yang merupakan tahun puncak terjadi COVID-19.

#### 4.1.2 Peramalan Beban Transformator 1 dengan Metode Regresi Linear Sederhana

Beban yang akan diramalkan menggunakan skala waktu bulanan dan akan diambil nilai tertinggi dari setiap tahun berdasarkan hasil peramalan beban bulanan yang telah didapatkan. Data yang akan digunakan dalam perhitungan adalah data beban bulanan dari tahun 2020 sampai tahun 2023 yang berarti terdapat 48 data. Sedangkan untuk menguji akurasi peramalan, kita membandingkan data peramalan beban bulanan pada tahun 2024 dengan data aktual beban bulanan tahun 2024 yang ada.

Untuk mempermudah perhitungan menggunakan metode regresi linear sederhana, maka dibuat Tabel 4.2 sebagai tabel penolong perhitungan.

Tabel 4.2 Tabel Penolong Regresi Linear Sederhana Trafo 1

<b>TAHUN</b>	<b>BULAN</b>	<b>PERIODE KE X</b>	<b>BEBAN PUNCAK Y</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>XY</b>
2020	Januari	1	26,5	1	26,5
	Februari	2	25,0	4	50,0
	Maret	3	20,6	9	61,8
	April	4	39,1	16	156,5
	Mei	5	21,2	25	106,1
	Juni	6	28,9	36	173,3
	Juli	7	20,4	49	143,1
	Agustus	8	22,2	64	177,6
	September	9	17,7	81	159,6
	Oktober	10	21,2	100	211,9
	November	11	22,8	121	250,7
	Desember	12	25,0	144	299,9
2021	Januari	13	15,3	169	199,5
	Februari	14	26,7	196	374,0
	Maret	15	30,0	225	449,7
	April	16	21,0	256	336,5
	Mei	17	18,3	289	311,8
	Juni	18	20,8	324	374,3
	Juli	19	17,3	361	328,0
	Agustus	20	29,7	400	593,4
	September	21	23,1	441	484,4
	Oktober	22	24,0	484	528,9
	November	23	19,3	529	444,2
	Desember	24	21,0	576	504,6
2022	Januari	25	15,3	625	383,6
	Februari	26	18,6	676	482,9
	Maret	27	19,2	729	519,4
	April	28	19,2	784	538,6
	Mei	29	21,3	841	616,5
	Juni	30	28,2	900	844,8
	Juli	31	48,1	961	1.491,2
	Agustus	32	28,4	1024	910,2

	September	33	21,1	1089	696,1
	Oktober	34	26,9	1156	915,5
	November	35	24,2	1225	846,5
	Desember	36	24,2	1296	870,7
2023	Januari	37	28,5	1369	1.053,0
	Februari	38	19,8	1444	751,3
	Maret	39	23,5	1521	914,8
	April	40	17,1	1600	683,5
	Mei	41	21,6	1681	885,1
	Juni	42	42,1	1764	1.766,5
	Juli	43	15,3	1849	659,1
	Agustus	44	20,9	1936	919,2
	September	45	21,5	2025	966,5
	Oktober	46	25,5	2116	1.172,8
	November	47	25,5	2209	1.198,3
	Desember	48	25,0	2304	1.198,7
	<b>JUMLAH</b>		<b>1.176</b>	<b>1.138,15</b>	<b>38.024</b>

Berdasarkan tabel 4.2, maka kita dapat menghitung nilai peramalan beban transformator 1 tahun 2024. Sebelum menghitung beban dengan Persamaan 2-2, harus menghitung nilai konstanta a dan b berdasarkan nilai yang ada di tabel atas dengan menggunakan Persamaan 2-3 dan 2-4 dan mendapatkan hasil seperti pada Persamaan 4-1.

- Mencari nilai konstanta a

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y)(\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)(\sum_{i=1}^n XY)}{(n)(\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2}$$

$$a = \frac{(1138,15)(38024) - (1176)(28031,09)}{(48)(38024) - (1176)^2}$$

$$a = \frac{43277015,6 - 32964561,84}{1825152 - 1382976} \quad (4-1)$$

$$a = \frac{10312453,76}{442176}$$

$$a = 23,32$$

- Mencari nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum_{i=1}^n XY) - (\sum_{i=1}^n X)(\sum_{i=1}^n Y)}{(n)(\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2}$$

$$b = \frac{(48)(28031,09) - (1176)(1138,15)}{(48)(38024) - (1176)^2}$$

$$b = \frac{1345492,32 - 1338464,4}{1825152 - 1382976} \quad (4-2)$$

$$b = \frac{7027,92}{442176}$$

$$b = 0,0158$$

Setelah mengetahui nilai konstanta a dan b, maka didapatkan persamaan regresi linear sederhana seperti pada Persamaan 4-3.

$$Y = a + bX$$

$$Y = 23,32 + 0,0158 \cdot X \quad (4-3)$$

Dengan Persamaan 4-3, kita dapat menghitung beban bulanan transformator 1 tahun 2024. Bila bulan desember 2023 merupakan periode ke 48, maka Januari 2024 merupakan periode ke 49 dan sampai desember 2024 adalah periode ke 60. Perhitungan beban bulan Januari 2024 ditunjukkan pada Persamaan 4-4.

$$Y = a + bX$$

$$Y_{49} = 23,32 + 0,0158 \cdot 49$$

$$Y_{49} = 23,32 + 0,7742 \quad (4-4)$$

$$Y_{49} = 24,09 \text{ MVA}$$

Jadi beban bulanan Januari tahun 2024 adalah 24,09 MVA. Untuk beban bulanan yang lain dihitung dengan Persamaan 4-3 dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Peramalan Beban Trafo 1 tahun 2024 dengan Metode Regresi Linear

Tahun	Bulan	Periode ke	Beban Bulanan (MVA)
2024	Januari	49	24,09
	Februari	50	24,11
	Maret	51	24,13
	April	52	24,14
	Mei	53	24,16
	Juni	54	24,17
	Juli	55	24,19
	Agustus	56	24,20
	September	57	24,22
	Oktober	58	24,24
	November	59	24,25
	Desember	60	24,27

#### 4.1.3 Peramalan Beban dengan Metode Tren Dekomposisi

Berikut adalah data beban transformator 1 tahun 2020-2024 yang disajikan pada Tabel 4.4, nilai yang diblok warna kuning berarti tidak terpakai dalam perhitungan.

Tabel 4.4 Data beban yang dipakai dalam perhitungan metode tren dekomposisi trafo 1

BULAN	BEBAN PUNCAK (MVA)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Januari	26,5	15,3	15,3	28,5	25,0
Februari	25,0	26,7	18,6	19,8	29,7
Maret	20,6	30,0	19,2	23,5	42,4
April	39,1	21,0	19,2	17,1	24,0
Mei	21,2	18,3	21,3	21,6	26,6
Juni	28,9	20,8	28,2	42,1	26,8
Juli	20,4	17,3	48,1	15,3	28,7
Agustus	22,2	29,7	28,4	20,9	28,4
September	17,7	23,1	21,1	21,5	29,4
Oktober	21,2	24,0	26,9	25,5	38,3
November	22,8	19,3	24,2	25,5	37,6
Desember	25,0	21,0	24,2	25,0	38,4

Data yang dipakai dalam peramalan metode tren dekomposisi adalah sebanyak 47 data yaitu mulai dari agustus 2020 – juni 2024. Langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah menghitung rata-rata bergerak sesuai dengan Persamaan 2-18, Persamaan 4-5 adalah perhitungan rata-rata bergerak bulan Januari 2020 ( $M_6$ ).

$$M_t = \frac{Y_{t-5} + Y_{t-4} + Y_{t-3} + Y_{t-2} + Y_{t-1} + Y_t + Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3} + Y_{t+4} + Y_{t+5} + Y_{t+6}}{12}$$

$$M_6 = \frac{22,2 + 17,7 + 21,2 + 22,8 + 25 + 15,3 + 26,7 + 30 + 21 + 18,3 + 20,8 + 17,3}{12} \quad (4-5)$$

$$M_6 = \frac{258,3}{12}$$

$$M_6 = 21,53$$

Jadi, rata-rata bergerak periode ke 6 (Januari 2024) adalah 21,53. Untuk rata-rata bergerak periode lain dihitung menggunakan persamaan yang sama. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Indeks Musiman ( $Z_t$ ) sesuai dengan Persamaan 4-6.

$$Z_t = \frac{Y_t}{M_t}$$

$$Z_6 = \frac{Y_6}{M_6}$$

$$Z_6 = \frac{15,3}{21,53} \quad (4-6)$$

$$Z_6 = 0,7127$$

Hasil perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman trafo 1

BULAN	2021			2022			2023		
	Yt	Mt	Zt	Yt	Mt	Zt	Yt	Mt	Zt
Januari	15,3	21,53	0,7127	15,3	23,92	0,6415	28,5	24,38	1,1673
Februari	26,7	22,15	1,2060	18,6	22,54	0,8241	19,8	23,75	0,8324
Maret	30,0	22,60	1,3266	19,2	23,65	0,8133	23,5	23,78	0,9862
April	21,0	22,84	0,9209	19,2	23,89	0,8051	17,1	23,67	0,7221
Mei	18,3	22,55	0,8135	21,3	24,30	0,8748	21,6	23,77	0,9080
Juni	20,8	22,22	0,9361	28,2	24,56	1,1465	42,1	23,84	1,7642
Juli	17,3	22,22	0,7771	48,1	25,66	1,8750	15,3	23,55	0,6508
Agustus	29,7	21,54	1,3777	28,4	25,76	1,1044	20,9	24,38	0,8568
September	23,1	20,64	1,1175	21,1	26,11	0,8080	21,5	25,96	0,8273
Oktober	24,0	20,49	1,1732	26,9	25,93	1,0385	25,5	26,54	0,9607
November	19,3	20,74	0,9314	24,2	25,96	0,9319	25,5	26,95	0,9459
Desember	21,0	21,35	0,9848	24,2	27,11	0,8921	25,0	25,68	0,9725

Jika sudah diketahui nilai indeks musimannya, maka selanjutnya adalah menghitung nilai rata-rata indeks musiman (RKt) dengan Persamaan 4-7.

$$\begin{aligned}
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{Z_{\text{Jan21}} + Z_{\text{Jan22}} + Z_{\text{Jan23}}}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{0,7127 + 0,6415 + 1,1673}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{2,5215}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= 0,8405
 \end{aligned}
 \tag{4-7}$$

Jadi, rata-rata indeks musiman bulan Januari adalah 0,8045. Untuk rata-rata indeks musiman lain dihitung menggunakan Persamaan 4-7. Selanjutnya adalah menghitung nilai faktor penyesuaian (FP) Persamaan 4-8.

$$FP = \frac{\sum_{i=1}^n RK_t}{12}$$

$$FP = (0,8405 + 0,9542 + 1,0420 + 0,8160 + 0,8654 + 1,2823 + 1,1010 + 1,1129 + 0,9176 + 1,057 + 0,9364 + 0,9498) / 12 \quad (4-8)$$

$$FP = \frac{11,8751}{12}$$

$$FP = 0,9896$$

Setelah mencari nilai nilai faktor penyesuaian, langkah selanjutnya adalah mencari nilai Komponen Musim Bulanan (St) dengan Persamaan 4-9.

$$S_t = RK_t \times FP$$

$$S_{januari} = 0,8405 \times 0,9896 \quad (4-9)$$

$$S_{januari} = 0,831762$$

Berikut adalah hasil perhitungan rata-rata indeks musiman, faktor penyesuaian dan komponen musim bulanan yang disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 hasil perhitungan R<sub>Kt</sub>, FP dan St Trafo 1

BULAN	Z <sub>t</sub>			R <sub>Kt</sub>	FP	St
	2021	2022	2023			
Januari	0,7127	0,6415	1,1673	0,8405	0,9896	0,831762
Februari	1,2060	0,8241	0,8324	0,9542		0,944274
Maret	1,3266	0,8133	0,9862	1,0420		1,031202
April	0,9209	0,8051	0,7221	0,8160		0,807553
Mei	0,8135	0,8748	0,9080	0,8654		0,856467
Juni	0,9361	1,1465	1,7642	1,2823		1,268979
Juli	0,7771	1,8750	0,6508	1,1010		1,089545
Agustus	1,3777	1,1044	0,8568	1,1129		1,101391
September	1,1175	0,8080	0,8273	0,9176		0,908099
Oktober	1,1732	1,0385	0,9607	1,0575		1,046486
November	0,9314	0,9319	0,9459	0,9364		0,926669
Desember	0,9848	0,8921	0,9725	0,9498		0,939929

Langkah selanjutnya adalah menentukan tren yang akan digunakan dalam perhitungan, apakah menggunakan tren linier atau tren non linier. Dengan cara menghitung nilai koefisien korelasi linier ( $r_l$ ) dan koefisien korelasi non linier/eksponensial ( $r_e$ ). Apabila nilai  $r_l$  lebih besar dari  $r_e$  maka menggunakan tren linier, sedangkan bila nilai  $r_l$  lebih kecil dari nilai  $r_e$  maka menggunakan tren non linier/eksponensial. Guna memudahkan dalam perhitungan  $r_l$  dan  $r_e$  maka dibuat tabel penolong seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel penolong koefisien korelasi Trafo 1

t	t <sup>2</sup>	Yt	Yt <sup>2</sup>	t.Yt	lnYt	ln Yt <sup>2</sup>	t. Ln Yt
1	1	22,20	493,00	22,20	3,10	6,20	3,10
2	4	17,73	314,33	35,46	2,88	5,75	5,75
3	9	21,19	449,00	63,57	3,05	6,11	9,16
4	16	22,79	519,30	91,15	3,13	6,25	12,50
5	25	24,99	624,52	124,95	3,22	6,44	16,09
6	36	15,34	235,45	92,07	2,73	5,46	16,38
7	49	26,72	713,77	187,02	3,29	6,57	23,00
8	64	29,98	898,74	239,83	3,40	6,80	27,20
9	81	21,03	442,25	189,27	3,05	6,09	27,41
10	100	18,34	336,40	183,41	2,91	5,82	29,09
11	121	20,80	432,50	228,76	3,03	6,07	33,38
12	144	17,26	298,00	207,15	2,85	5,70	34,18
13	169	29,67	880,36	385,72	3,39	6,78	44,07
14	196	23,07	532,10	322,94	3,14	6,28	43,94
15	225	24,04	578,00	360,62	3,18	6,36	47,70
16	256	19,31	373,00	309,01	2,96	5,92	47,37
17	289	21,02	442,00	357,40	3,05	6,09	51,78
18	324	15,34	235,45	276,20	2,73	5,46	49,15
19	361	18,57	345,01	352,91	2,92	5,84	55,51
20	400	19,24	370,00	384,71	2,96	5,91	59,14
21	441	19,24	370,00	403,94	2,96	5,91	62,09
22	484	21,26	451,89	467,67	3,06	6,11	67,25
23	529	28,16	793,00	647,69	3,34	6,68	76,77
24	576	48,10	2314,00	1154,50	3,87	7,75	92,96
25	625	28,44	809,00	711,07	3,35	6,70	83,70
26	676	21,10	445,00	548,47	3,05	6,10	79,27
27	729	26,93	725,00	727,00	3,29	6,59	88,91
28	784	24,19	585,00	677,23	3,19	6,37	89,20
29	841	24,19	585,00	701,42	3,19	6,37	92,39

30	900	28,46	810,00	853,81	3,35	6,70	100,46
31	961	19,77	390,92	612,92	2,98	5,97	92,51
32	1024	23,5	550,16	750,58	3,16	6,31	100,96
33	1089	17,1	292,00	563,90	2,84	5,68	93,67
34	1156	21,6	466,00	733,96	3,07	6,14	104,45
35	1225	42,1	1769,00	1472,08	3,74	7,48	130,87
36	1296	15,3	234,97	551,83	2,73	5,46	98,27
37	1369	20,9	436,41	772,95	3,04	6,08	112,45
38	1444	21,5	461,25	816,12	3,07	6,13	116,54
39	1521	25,5	650,00	994,31	3,24	6,48	126,30
40	1600	25,5	650,00	1019,80	3,24	6,48	129,54
41	1681	25,0	623,65	1023,89	3,22	6,44	131,93
42	1764	25,0	625,41	1050,34	3,22	6,44	135,21
43	1849	29,7	884,00	1278,48	3,39	6,78	145,87
44	1936	42,4	1796,00	1864,69	3,75	7,49	164,85
45	2025	24,0	578,00	1081,87	3,18	6,36	143,09
46	2116	26,6	706,00	1222,25	3,28	6,56	150,87
47	2209	26,8	715,72	1257,39	3,29	6,57	154,47
<b>1.128</b>	<b>35.720</b>	<b>1130,80</b>	<b>29.230,56</b>	<b>28.374,54</b>	<b>148,01</b>	<b>296,02</b>	<b>3.600,79</b>

Berdasarkan hasil nilai dari tabel 4.7, maka dapat digunakan untuk mencari nilai re dan rl dengan Persamaan 4-10 dan 4-11.

- Koefisien korelasi linier (rl)

$$rl = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n Y_t)^2]}$$

$$rl = \frac{(47 \times 28.374,54) - (1.128 \times 1130,80)}{[(47 \times 35720) - (1128)^2] \times [(47 \times 29.230,56) - (1130,80)^2]}$$

$$rl = \frac{1.333.603,38 - 1.275.542,4}{(1.678.840 - 1.272.384) \times (1.373.836,32 - 1.278.708,64)} \quad (4-10)$$

$$rl = \frac{58.060,98}{406.456 \times 95.127,68}$$

$$rl = 0,000001502$$

- Koefisien korelasi non linear/eksponensial (re)

$$re = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot \ln Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n \ln Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)^2]}$$

$$re = \frac{(47 \times 3.600,79) - (1.128 \times 148,01)}{[(47 \times 35720) - (1128)^2] \times [(47 \times 296,02) - (148,01)^2]}$$

$$re = \frac{169.237,13 - 166.955,28}{(1.678.840 - 1.272.384) \times (13.912,94 - 21.906,96)} \quad (4-11)$$

$$re = \frac{2.281,85}{406.456 \times (-7.994,02)}$$

$$re = -0,000000702$$

Berdasarkan hasil Persamaan 4-10 dan 4-11, diketahui bahwa nilai  $r_l$  lebih besar dari nilai  $r_e$ , maka tren yang digunakan adalah tren linier.

Sebelum menghitung tren linier dengan Persamaan 2-11, perlu mencari nilai konstanta  $a$  dan  $b$  dengan Persamaan 4-12 dan 4-13.

- Mencari nilai konstanta  $a$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y_t) (\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t) (\sum_{i=1}^n t \cdot Y_t)}{(n) (\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t)^2}$$

$$a = \frac{(1.130,80)(35.720) - (1.128)(28.374,54)}{(47)(35.720) - (1.128)^2}$$

$$a = \frac{40.392.176 - 32.006.481,12}{1.678.840 - 1.272.384} \quad (4-12)$$

$$a = \frac{8.385.694,88}{406.456}$$

$$a = 20,63$$

- Mencari nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum_{i=1}^n t \cdot Y_t) - (\sum_{i=1}^n t)(\sum_{i=1}^n Y_t)}{(n)(\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t)^2}$$

$$b = \frac{(47)(28.374,54) - (1.128)(1130,8)}{(47)(35.720) - (1.128)^2}$$

$$b = \frac{1.333.603,38 - 1.275.542,4}{1.678.840 - 1.272.384} \tag{4-13}$$

$$b = \frac{58.060,98}{406.456}$$

$$b = 0,142$$

Maka persamaan tren nya adalah seperti ditunjukkan pada Persamaan 4-14.

$$T_t = 20,63 + 0,142.t \tag{4-14}$$

Pada tahap ini, data yang digunakan ialah sebanyak 36 data mulai dari data ke 6 atau data bulan Januari 2021 sampai data ke 41 atau data bulan desember 2023.

- Mencari nilai  $T_t$  bulan Januari 2021 dengan Persamaan 4-15.

$$T_6 = 20,63 + 0,142 \times 6 \tag{4-15}$$

$$T_6 = 21,49$$

- Mencari nilai  $C_t$  bulan Januari 2021 dengan Persamaan 4-16.

$$C_6 = \frac{21,53}{21,49} \tag{4-16}$$

$$C_6 = 1,002$$

Untuk nilai  $T_t$  dan  $C_t$  lainnya dihitung dengan Persamaan 4-15 dan 4-16 dan hasilnya seperti yang tertera pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan Tren linier dan Komponen siklus Transformator 1

t	Yt	Mt	Tt	Ct
6	15,3	21,53	21,49	1,0020
7	26,7	22,15	21,63	1,0241
8	30,0	22,60	21,77	1,0378
9	21,0	22,84	21,92	1,0419
10	18,3	22,55	22,06	1,0220
11	20,8	22,22	22,20	1,0006
12	17,3	22,22	22,35	0,9942
13	29,7	21,54	22,49	0,9577
14	23,1	20,64	22,63	0,9121
15	24,0	20,49	22,77	0,8998
16	19,3	20,74	22,92	0,9048
17	21,0	21,35	23,06	0,9258
18	15,3	23,92	23,20	1,0309
19	18,6	22,54	23,35	0,9654
20	19,2	23,65	23,49	1,0070
21	19,2	23,89	23,63	1,0111
22	21,3	24,30	23,77	1,0221
23	28,2	24,56	23,92	1,0270
24	48,1	25,66	24,06	1,0663
25	28,4	25,76	24,20	1,0642
26	21,1	26,11	24,35	1,0724
27	26,9	25,93	24,49	1,0588
28	24,2	25,96	24,63	1,0538
29	24,2	27,11	24,77	1,0944
30	28,5	24,38	24,92	0,9786
31	19,8	23,75	25,06	0,9479
32	23,5	23,78	25,20	0,9438
33	17,1	23,67	25,35	0,9337
34	21,6	23,77	25,49	0,9328
35	42,1	23,84	25,63	0,9301
36	15,3	23,55	25,77	0,9138
37	20,9	24,38	25,92	0,9408
38	21,5	25,96	26,06	0,9962
39	25,5	26,54	26,20	1,0128
40	25,5	26,95	26,35	1,0231
41	25,0	25,68	26,49	0,9694

Setelah mendapatkan nilai  $C_t$  dari semua variabel data, kemudian mencari nilai rata-rata  $C_t$  dengan Persamaan 4-17.

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata } C_t &= \frac{\sum_{i=1}^n C_t}{36} \\ \text{Rata - rata } C_t &= \frac{35,71}{36} \\ \text{Rata - rata } C_t &= 0,992 \end{aligned} \tag{4-17}$$

Setelah nilai  $T_t, S_t$ , dan rata-rata  $C_t$  diketahui, maka dapat menghitung nilai peramalan ( $F_t$ ) dengan persamaan. Beban puncak yang akan diramalkan adalah mulai bulan Januari – Desember 2024. Berikut perhitungan beban transformator 1 bulan Januari tahun 2024 ditunjukkan oleh Persamaan 4-18.

$$\begin{aligned} F_{42} &= (20,63 + 0,142 \times 42) + 0,8317 + 0,992 \\ F_{42} &= 28,42 \text{ MVA} \end{aligned} \tag{4-18}$$

Untuk bulan lainnya dihitung menggunakan Persamaan 4-18 dengan hasil seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Peramalan Beban Trafo 1 Tahun 2024 dengan metode Dekomposisi

BULAN	BEBAN TRAF0 1
Januari	28,42
Februari	28,67
Maret	28,90
April	28,82
Mei	29,01
Juni	29,56
Juli	29,53
Agustus	29,68
September	29,63
Oktober	29,91
November	29,93
Desember	30,09

#### 4.1.4 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 1

Berdasarkan perhitungan dan hasil yang telah didapatkan, maka diketahui nilai peramalan beban transformator 1 tahun 2024 sebagaimana pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 1

Bulan	Beban Peramalan		Beban Aktual
	Regresi Linear Sederhana	Dekomposisi	
Januari	24,09	28,42	25,0
Februari	24,11	28,67	29,7
Maret	24,13	28,90	42,4
April	24,14	28,82	24,0
Mei	24,16	29,01	26,6
Juni	24,17	29,56	26,8
Juli	24,19	29,53	28,7
Agustus	24,20	29,68	28,4
September	24,22	29,63	29,4
Oktober	24,24	29,91	38,3
November	24,25	29,93	37,6
Desember	24,27	30,09	38,4

- Perhitungan MAPE metode regresi linear sederhana ditunjukkan oleh Persamaan 4-19.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) \times 100\%}{n} \quad (4-19)$$

$$MAPE = \frac{\left( \frac{375,3 - 290,17}{375,3} \right) \times 100\%}{12}$$

$$MAPE = 1,89 \%$$

- Perhitungan MAPE metode dekomposisi ditunjukkan oleh Persamaan 4-20.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) \times 100\%}{n}$$

$$MAPE = \frac{\left( \frac{375,3 - 352,15}{375,3} \right) \times 100\%}{12} \quad (4-20)$$

$$MAPE = 0,51 \%$$

Jadi bisa disimpulkan metode terbaik untuk meramalkan beban transformator 1 Gardu Induk 150 KV Weleri adalah metode dekomposisi dengan nilai MAPE sebesar 0,51 %.

#### 4.1.5 Hasil Peramalan Beban Puncak

Berikut adalah hasil peramalan beban puncak transformator 1 tahun 2025 – 2034 menggunakan metode tren dekomposisi ditunjukkan pada Tabel 4.11-4.15.

Tabel 4.11 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2025

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	30,12
Februari	30,38
Maret	30,61
April	30,52
Mei	30,71
Juni	31,27
Juli	31,23
Agustus	31,39
September	31,33
Oktober	31,61
November	31,64
Desember	31,79

Tabel 4.12 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2026

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	31,83
Februari	32,08
Maret	32,31
April	32,23
Mei	32,42
Juni	32,97
Juli	32,94
Agustus	33,09
September	33,04
Oktober	33,32
November	33,34
Desember	33,50

Tabel 4.13 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2027

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	33,53
Februari	33,78
Maret	34,01
April	33,93
Mei	34,12
Juni	34,68
Juli	34,64
Agustus	34,79
September	34,74
Oktober	35,02
November	35,04
Desember	35,20

Tabel 4.14 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2028

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	35,23
Februari	35,49
Maret	35,72
April	35,64
Mei	35,83
Juni	36,38
Juli	36,34
Agustus	36,50
September	36,45
Oktober	36,73
November	36,75
Desember	36,90

Tabel 4.15 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2029

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	36,94
Februari	37,19
Maret	37,42
April	37,34
Mei	37,53
Juni	38,08
Juli	38,05
Agustus	38,20
September	38,15
Oktober	38,43
November	38,45
Desember	38,61

Tabel 4.16 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2030

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	38,64
Februari	38,90
Maret	39,13
April	39,04
Mei	39,23
Juni	39,79
Juli	39,75
Agustus	39,91
September	39,85
Oktober	40,13
November	40,16
Desember	40,31

Tabel 4.17 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2031

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	40,35
Februari	40,60
Maret	40,83
April	40,75
Mei	40,94
Juni	41,49
Juli	41,46
Agustus	41,61
September	41,56
Oktober	41,84
November	41,86
Desember	42,02

Tabel 4.18 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2032

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	42,05
Februari	42,30
Maret	42,53
April	42,45
Mei	42,64
Juni	43,20
Juli	43,16
Agustus	43,31
September	43,26
Oktober	43,54
November	43,56
Desember	43,72

Tabel 4.19 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2033

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	43,75
Februari	44,01
Maret	44,24
April	44,16
Mei	44,35
Juni	44,90
Juli	44,86
Agustus	45,02
September	44,97
Oktober	45,25
November	45,27
Desember	45,42

Tabel 4.20 Hasil Peramalan Beban Transformator 1 Tahun 2034

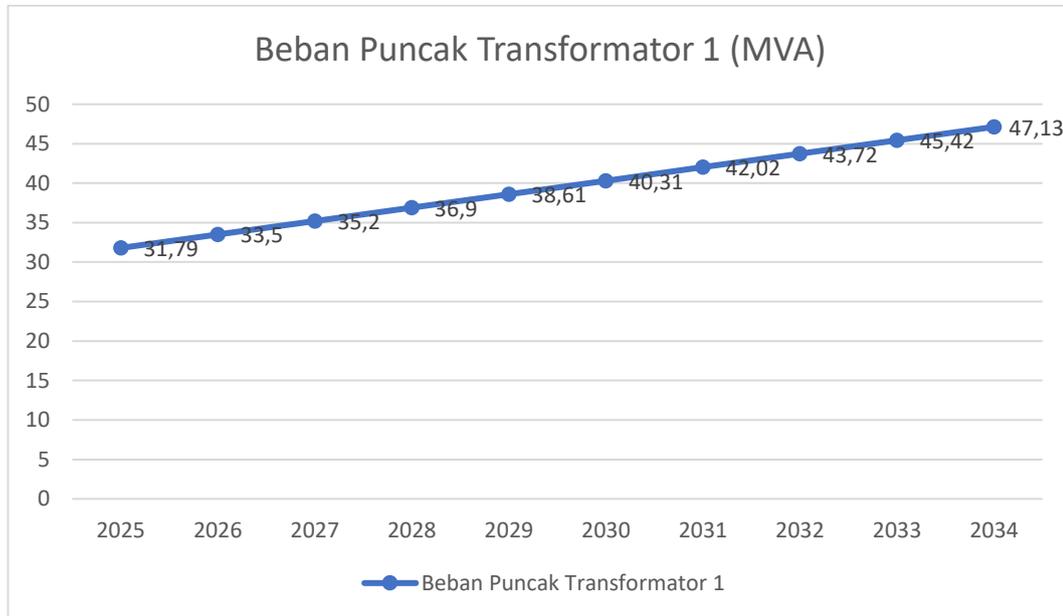
BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 1 (MVA)
Januari	45,46
Februari	45,71
Maret	45,94
April	45,86
Mei	46,05
Juni	46,60
Juli	46,57
Agustus	46,72
September	46,67
Oktober	46,95
November	46,97
Desember	47,13

Setelah mengetahui nilai peramalan beban bulanan transformator 1 pada masing-masing tahun, maka kita dapat menentukan nilai beban puncak pada masing-masing tahun, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Beban Puncak Transformator 1 Tahun 2025-2034

TAHUN	BEBAN PUNCAK
2025	31,79
2026	33,50
2027	35,20
2028	36,90
2029	38,61
2030	40,31
2031	42,02
2032	43,72
2033	45,42
2034	47,13

Berdasarkan Tabel 4.21, dibuat grafik pertumbuhan beban puncak transformator 1 seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Pertumbuhan Beban Puncak Transformator 1 Tahun 2025-2034

#### 4.1.6 Evaluasi Kelayakan Pakai Transformator 1 GI 150 KV Weleri

Setelah mengetahui hasil peramalan beban puncak transformator 1 selama 10 tahun mendatang yaitu dari tahun 2025-2034. Maka kita dapat melakukan evaluasi kelayakan pakai transformator berdasarkan perhitungan persentase pembebanan transformator sesuai dengan Persamaan 4-21.

$$\text{Persentase}_{2025} = \frac{\text{Beban Puncak}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase}_{2025} = \frac{31,79}{60} \times 100 \% \quad (4-21)$$

$$\text{Persentase}_{2025} = 52,9 \%$$

Untuk persentase lainnya dihitung dengan Persamaan 4-21, hasilnya ditulis pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Persentase Beban Transformator 1 Tahun 2025-2034

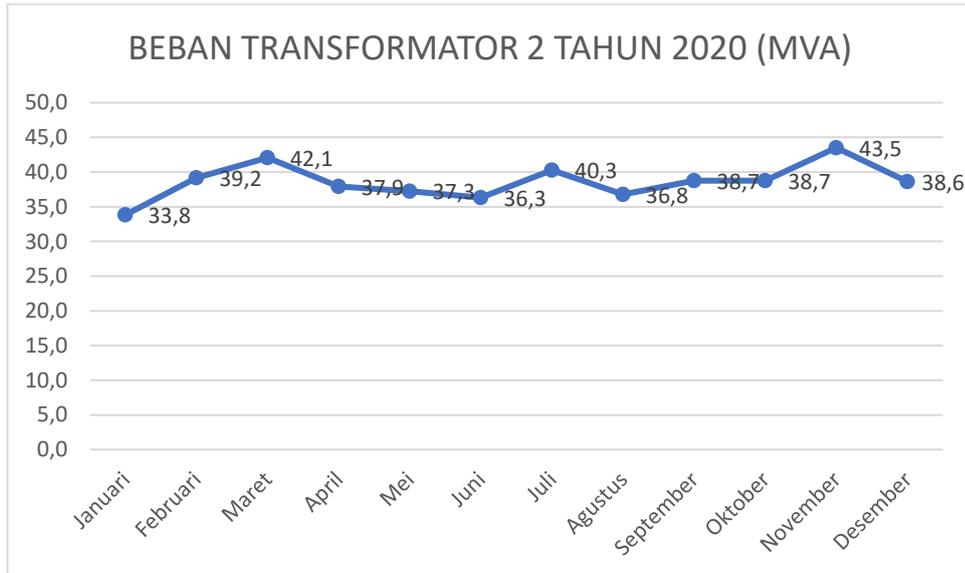
TAHUN	BEBAN PUNCAK	PERSENTASE BEBAN
2025	31,79 MVA	52,9 %
2026	33,50 MVA	55,8 %
2027	35,20 MVA	58,7 %
2028	36,90 MVA	61,5 %
2029	38,61 MVA	64,3 %
2030	40,31 MVA	67,2 %
2031	42,02 MVA	70,0 %
2032	43,72 MVA	72,9 %
2033	45,42 MVA	75,7 %
2034	47,13 MVA	78,5 %

Berdasarkan hasil peramalan beban puncak transformator 1 menggunakan metode tren dekomposisi. Diketahui bahwa transformator 1 masih layak digunakan sampai tahun 2024 dengan beban puncak sebesar 47,13 MVA dan persentase pembebanan sebesar 78,5%.

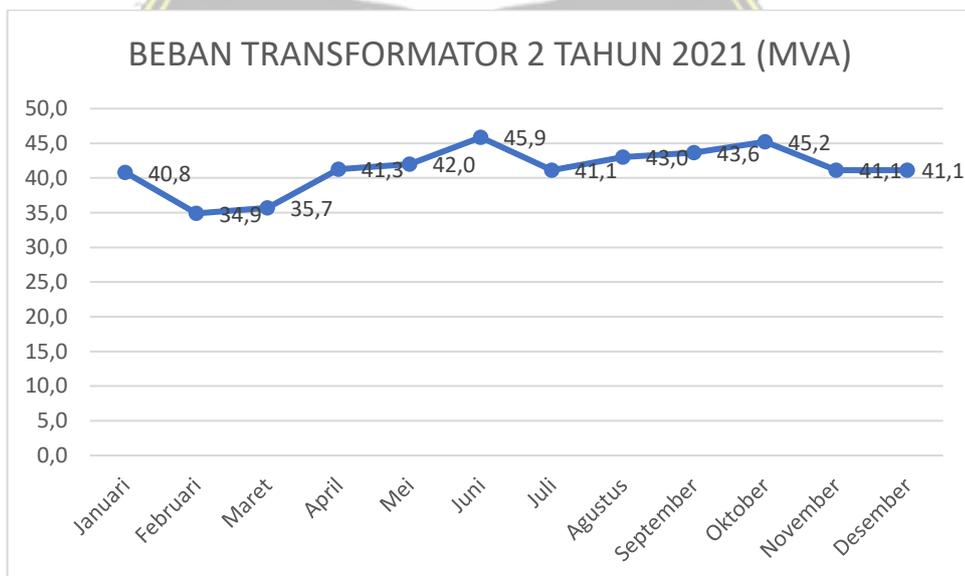
## 4.2 Peramalan Beban Puncak Transformator 2

### 4.2.1 Pembebanan Puncak Transformator 2 pada masa lampau

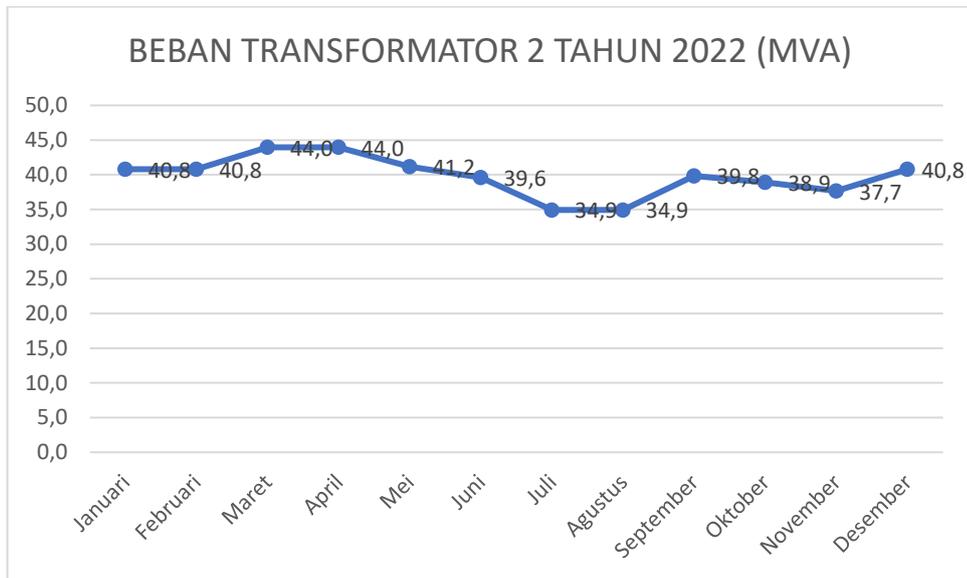
Berikut adalah grafik pembebanan pada transformator 2 pada periode tahun 2020-2024 ditunjukkan pada Gambar 4.8-4.12.



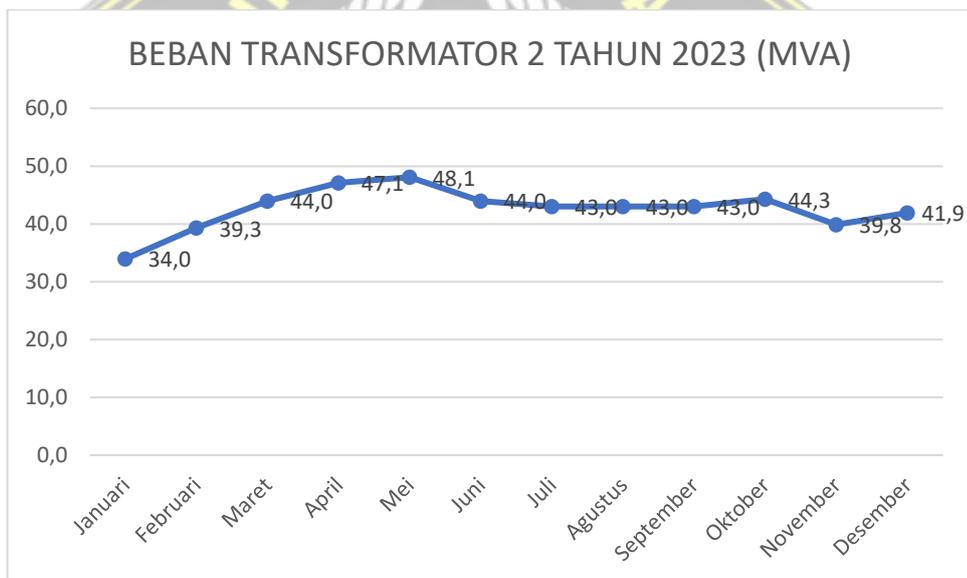
Gambar 4.8 Beban Transformator 2 tahun 2020



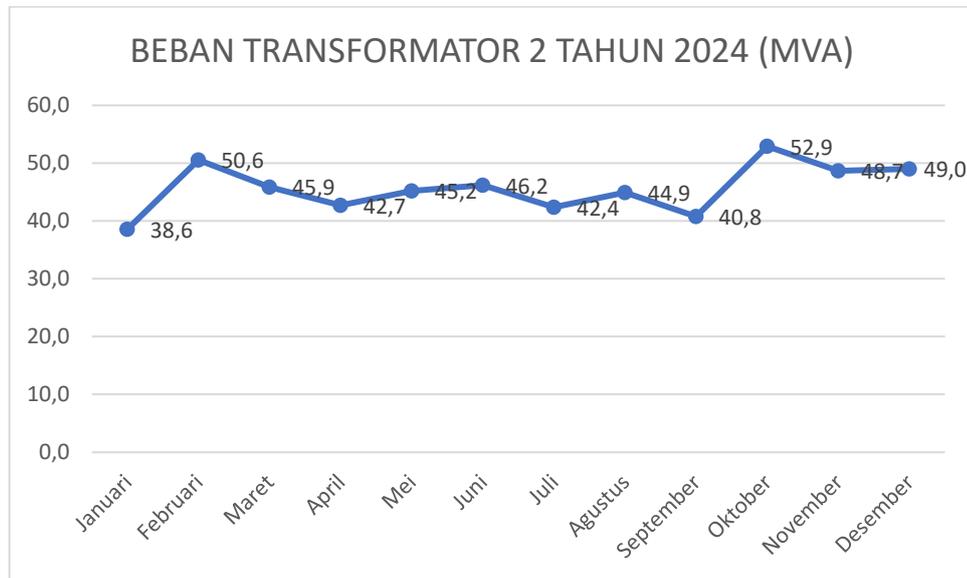
Gambar 4.9 Beban Transformator 2 tahun 2021



Gambar 4.10 Beban Transformator 2 tahun 2022



Gambar 4.11 Beban Transformator 2 tahun 2023



Gambar 4.12 Beban Transformator 2 tahun 2024

#### 4.2.2 Peramalan Beban Bulanan Transformator 2 dengan Metode Regresi Linear Sederhana

Beban yang akan diramalkan menggunakan skala waktu bulanan dan akan diambil nilai tertinggi dari setiap tahun berdasarkan hasil peramalan beban bulanan yang telah didapatkan. Data yang akan digunakan dalam perhitungan adalah data beban bulanan dari tahun 2020 sampai tahun 2023 yang berarti terdapat 48 data. Sedangkan untuk menguji akurasi peramalan, kita membandingkan data peramalan beban bulanan pada tahun 2024 dengan data aktual beban bulanan tahun 2024 yang ada.

Untuk mempermudah perhitungan menggunakan metode regresi linear sederhana, maka dibuat tabel penolong seperti pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Tabel Penolong konstanta regresi

TAHUN	BULAN	PERIODE KE X	BEBAN PUNCAK Y	X <sup>2</sup>	XY
2020	Januari	1	33,8	1	33,8
	Februari	2	39,2	4	78,4
	Maret	3	42,1	9	126,2
	April	4	37,9	16	151,8
	Mei	5	37,3	25	186,3
	Juni	6	36,3	36	218,0
	Juli	7	40,3	49	281,8
	Agustus	8	36,8	64	294,3
	September	9	38,7	81	348,7
	Oktober	10	38,7	100	387,5
	November	11	43,5	121	478,6
	Desember	12	38,6	144	463,2
2021	Januari	13	40,8	169	530,5
	Februari	14	34,9	196	488,5
	Maret	15	35,7	225	535,1
	April	16	41,3	256	660,3
	Mei	17	42,0	289	713,9
	Juni	18	45,9	324	825,4
	Juli	19	41,1	361	781,1
	Agustus	20	43,0	400	860,2
	September	21	43,6	441	916,5
	Oktober	22	45,2	484	994,9
	November	23	41,1	529	945,5
	Desember	24	41,1	576	986,6
2022	Januari	25	40,8	625	1.020,1
	Februari	26	40,8	676	1.060,9
	Maret	27	44,0	729	1.186,8
	April	28	44,0	784	1.230,8
	Mei	29	41,2	841	1.194,3
	Juni	30	39,6	900	1.188,5
	Juli	31	34,9	961	1.082,8
	Agustus	32	34,9	1024	1.117,7
September	33	39,8	1089	1.315,0	

	Oktober	34	38,9	1156	1.322,5
	November	35	37,7	1225	1.318,0
	Desember	36	40,8	1296	1.469,0
2023	Januari	37	34,0	1369	1.256,4
	Februari	38	39,3	1444	1.493,2
	Maret	39	44,0	1521	1.714,7
	April	40	47,1	1600	1.885,1
	Mei	41	48,1	1681	1.971,4
	Juni	42	44,0	1764	1.846,6
	Juli	43	43,0	1849	1.849,5
	Agustus	44	43,0	1936	1.892,5
	September	45	43,0	2025	1.935,5
	Oktober	46	44,3	2116	2.036,5
	November	47	39,8	2209	1.872,9
	Desember	48	41,9	2304	2.011,6
<b>JUMLAH</b>		<b>1.176</b>	<b>1.947,79</b>	<b>38.024</b>	<b>48.559,18</b>

Sebelum menghitung beban puncak bulanan pada tahun 2024 dengan persamaan regresi linear sederhana, harus menghitung terlebih dahulu nilai konstanta a dan b berdasarkan tabel 4.23 dengan Persamaan 4-22 dan 4-23.

- Mencari nilai konstanta a

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y) (\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X) (\sum_{i=1}^n XY)}{(n) (\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2}$$

$$a = \frac{(1.947,79)(38.024) - (1.176)(48.559,18)}{(48)(38.024) - (1.176)^2}$$

$$a = \frac{74.062.766,96 - 57.105.595,68}{1.825.152 - 1.382.976} \quad (4-22)$$

$$a = \frac{16.957.171,28}{442.176}$$

$$a = 38,34$$

- Mencari nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum_{i=1}^n XY) - (\sum_{i=1}^n X)(\sum_{i=1}^n Y)}{(n)(\sum_{i=1}^n X^2) - (\sum_{i=1}^n X)^2}$$

$$b = \frac{(48)(48.559,18) - (1176)(1.947,79)}{(48)(38.024) - (1176)^2}$$

$$b = \frac{2.330.840,64 - 2.290.601,04}{1.825.152 - 1.382.976} \tag{4-23}$$

$$b = \frac{40.239,6}{442.176}$$

$$b = 0,0909$$

Setelah mengetahui nilai konstanta a dan b, maka didapatkan persamaan regresi linear seperti pada Persamaan 4-24.

$$Y = a + bX \tag{4-24}$$

$$Y = 38,349 + 0,0909.X$$

Dengan Persamaan 4-24 dapat menghitung beban bulanan transformator 2 tahun 2024. Bila bulan desember 2023 merupakan periode ke 48, maka Januari 2024 merupakan periode ke 49 dan sampai desember 2024 adalah periode ke 60. Perhitungan tren bulan Januari 2024 ditunjukkan pada Persamaan 4-25.

$$Y = a + bX$$

$$Y_{49} = 38,349 + 0,0909 . 49 \tag{4-25}$$

$$Y_{49} = 38,349 + 4,4541$$

$$Y_{49} = 42,81 \text{ MVA}$$

Jadi beban bulanan Januari tahun 2024 adalah 42,81 MVA. Untuk beban bulanan yang lain dihitung dengan Persamaan 4-25 dan didapatkan hasil sebagai seperti pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hasil Peramalan Beban Trafo 2 dengan Metode Regresi Linear Sederhana

Tahun	Bulan	Prediksi
2024	Januari	42,81
	Februari	42,90
	Maret	42,99
	April	43,08
	Mei	43,17
	Juni	43,26
	Juli	43,35
	Agustus	43,45
	September	43,54
	Oktober	43,63
	November	43,72
	Desember	43,81

#### 4.2.3 Peramalan Beban dengan Metode Dekomposisi

Berikut adalah data beban transformator 2 tahun 2020-2024 ditunjukkan pada Tabel 4.25-4.30, nilai yang diblok warna kuning berarti tidak terpakai dalam perhitungan.

Tabel 4.25 Data beban yang dipakai dalam perhitungan metode tren dekomposisi trafo 2

BULAN	BEBAN PUNCAK (MVA)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Januari	33,8	40,8	40,8	34,0	38,6
Februari	39,2	34,9	40,8	39,3	50,6
Maret	42,1	35,7	44,0	44,0	45,9
April	37,9	41,3	44,0	47,1	42,7
Mei	37,3	42,0	41,2	48,1	45,2
Juni	36,3	45,9	39,6	44,0	46,2
Juli	40,3	41,1	34,9	43,0	42,4
Agustus	36,8	43,0	34,9	43,0	44,9
September	38,7	43,6	39,8	43,0	40,8
Oktober	38,7	45,2	38,9	44,3	52,9
November	43,5	41,1	37,7	39,8	48,7
Desember	38,6	41,1	40,8	41,9	49,0

Data yang dipakai dalam peramalan metode tren dekomposisi adalah sebanyak 47 data yaitu mulai dari agustus 2020 – juni 2024. Langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah menghitung rata-rata bergerak sesuai dengan Persamaan 2-18, berikut adalah perhitungan rata-rata bergerak bulan Januari 2020 ( $M_6$ ) ditunjukkan oleh Persamaan 4-26.

$$M_t = \frac{Y_{t-5} + Y_{t-4} + Y_{t-3} + Y_{t-2} + Y_{t-1} + Y_t + Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3} + Y_{t+4} + Y_{t+5} + Y_{t+6}}{12}$$

$$M_6 = \frac{36,8 + 38,7 + 38,7 + 43,5 + 38,6 + 40,8 + 34,9 + 35,7 + 41,3 + 42 + 45,9 + 41,1}{12} \quad (4-26)$$

$$M_6 = \frac{478}{12}$$

$$M_6 = 39,83$$

Jadi, rata-rata bergerak periode ke 6 (Januari 2024) adalah 39,83. Untuk rata-rata bergerak periode lain dihitung menggunakan persamaan 4-26. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Indeks Musiman ( $Z_t$ ) dengan Persamaan 4-27.

$$Z_t = \frac{Y_t}{M_t}$$

$$Z_6 = \frac{Y_6}{M_6} \quad (4-27)$$

$$Z_6 = \frac{40,8}{39,83}$$

$$Z_6 = 1,0244$$

Hasil perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman adalah seperti pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Hasil Perhitungan rata-rata bergerak dan indeks musiman trafo 2

BULAN	2021			2022			2023		
	Yt	Mt	Zt	Yt	Mt	Zt	Yt	Mt	Zt
Januari	40,8	39,83	1,0244	40,8	41,61	0,9806	34,0	40,96	0,8290
Februari	34,9	40,35	0,8647	40,8	37,54	1,0870	39,3	41,64	0,9438
Maret	35,7	40,76	0,8752	44,0	40,62	1,0821	44,0	41,90	1,0493
April	41,3	41,30	0,9993	44,0	40,10	1,0963	47,1	42,35	1,1129
Mei	42,0	41,10	1,0218	41,2	39,81	1,0346	48,1	42,53	1,1306
Juni	45,9	41,31	1,1100	39,6	39,78	0,9958	44,0	42,62	1,0315
Juli	41,1	41,31	0,9952	34,9	39,21	0,8908	43,0	43,01	1,0001
Agustus	43,0	41,80	1,0290	34,9	39,09	0,8936	43,0	43,95	0,9787
September	43,6	42,49	1,0271	39,8	39,09	1,0195	43,0	44,11	0,9752
Oktober	45,2	42,71	1,0587	38,9	39,35	0,9885	44,3	43,74	1,0122
November	41,1	42,65	0,9640	37,7	39,93	0,9432	39,8	43,50	0,9161
Desember	41,1	42,13	0,9759	40,8	40,29	1,0128	41,9	43,68	0,9593

Jika sudah diketahui nilai indeks musimannya, maka selanjutnya adalah menghitung nilai rata-rata indeks musiman ( $RK_t$ ) dengan Persamaan 4-28.

$$\begin{aligned}
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{Z_{\text{Jan21}} + Z_{\text{Jan22}} + Z_{\text{Jan23}}}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{1,0244 + 0,9806 + 0,8290}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= \frac{2,834}{3} \\
 RK_{\text{Januari}} &= 0,9447
 \end{aligned}
 \tag{4-28}$$

Jadi, rata-rata indeks musiman bulan Januari adalah 0,9447. Untuk rata-rata indeks musiman lain dihitung menggunakan Persamaan 4-28. Selanjutnya adalah menghitung nilai faktor penyesuaian (FP) dengan Persamaan 4-29.

$$FP = \frac{\sum_{i=1}^n RK_t}{12}$$

$$FP = (0,9447 + 0,9652 + 1,0022 + 1,0695 + 1,0623 + 1,0458 + 0,9620 + 0,9671 + 1,0073 + 1,0198 + 0,9411 + 0,9827) / 12 \quad (4-29)$$

$$FP = \frac{11,9697}{12}$$

$$FP = 0,9975$$

Setelah mencari nilai nilai faktor penyesuaian, langkah selanjutnya adalah mencari nilai Komponen Musim Bulanan ( $S_t$ ) dengan Persamaan 4-30.

$$S_t = RK_t \times FP$$

$$S_{januari} = 0,9447 \times 0,9975 \quad (4-30)$$

$$S_{januari} = 0,9422$$

Hasil perhitungan rata-rata indeks musiman, faktor penyesuaian dan komponen musim bulanan ditunjukkan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 hasil perhitungan RKt, FP dan St Trafo 2

BULAN	TAHUN			RKt	FP	St
	2021	2022	2023			
Januari	1,0244	0,9806	0,8290	0,9447	0,9975	0,9422
Februari	0,8647	1,0870	0,9438	0,9652		0,9627
Maret	0,8752	1,0821	1,0493	1,0022		0,9996
April	0,9993	1,0963	1,1129	1,0695		1,0667
Mei	1,0218	1,0346	1,1306	1,0623		1,0596
Juni	1,1100	0,9958	1,0315	1,0458		1,0431
Juli	0,9952	0,8908	1,0001	0,9620		0,9595
Agustus	1,0290	0,8936	0,9787	0,9671		0,9646
September	1,0271	1,0195	0,9752	1,0073		1,0047
Oktober	1,0587	0,9885	1,0122	1,0198		1,0172
November	0,9640	0,9432	0,9161	0,9411		0,9386
Desember	0,9759	1,0128	0,9593	0,9827		0,9801

Langkah selanjutnya adalah menentukan tren yang akan digunakan dalam perhitungan, apakah menggunakan tren linier atau tren non linier. Dengan cara menghitung nilai koefisien korelasi linier ( $r_l$ ) dan koefisien korelasi non linier/eksponensial ( $r_e$ ). Apabila nilai  $r_l$  lebih besar dari  $r_e$  maka menggunakan tren linier, sedangkan bila nilai  $r_l$  lebih kecil dari nilai  $r_e$  maka menggunakan tren non linier/eksponensial. Guna memudahkan dalam perhitungan  $r_l$  dan  $r_e$  maka dibuat tabel penolong seperti pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Tabel penolong koefisien korelasi Trafo 2

t	t <sup>2</sup>	Yt	Yt <sup>2</sup>	t.Yt	lnYt	ln Yt <sup>2</sup>	t. Ln Yt
1	1	36,78	1353,01	36,78	3,61	7,21	3,61
2	4	38,75	1501,25	77,49	3,66	7,31	7,31
3	9	38,75	1501,25	116,24	3,66	7,31	10,97
4	16	43,51	1893,38	174,05	3,77	7,55	15,09
5	25	38,60	1490,00	193,00	3,65	7,31	18,27
6	36	40,80	1665,00	244,83	3,71	7,42	22,25
7	49	34,89	1217,57	244,26	3,55	7,10	24,87
8	64	35,67	1272,53	285,38	3,57	7,15	28,60
9	81	41,27	1703,25	371,43	3,72	7,44	33,48
10	100	42,00	1763,62	419,95	3,74	7,48	37,38
11	121	45,85	2102,50	504,38	3,83	7,65	42,08
12	144	41,11	1690,00	493,32	3,72	7,43	44,59
13	169	43,01	1850,00	559,15	3,76	7,52	48,90
14	196	43,64	1904,50	610,97	3,78	7,55	52,86
15	225	45,22	2045,00	678,33	3,81	7,62	57,17
16	256	41,11	1690,00	657,75	3,72	7,43	59,46
17	289	41,11	1690,00	698,86	3,72	7,43	63,18
18	324	40,80	1665,00	734,48	3,71	7,42	66,76
19	361	40,80	1665,00	775,28	3,71	7,42	70,47
20	400	43,96	1932,10	879,11	3,78	7,57	75,66
21	441	43,96	1932,10	923,07	3,78	7,57	79,45
22	484	41,18	1696,05	906,03	3,72	7,44	81,80
23	529	39,62	1569,44	911,17	3,68	7,36	84,62
24	576	34,93	1220,00	838,28	3,55	7,11	85,28
25	625	34,93	1220,00	873,21	3,55	7,11	88,83
26	676	39,85	1588,00	1036,09	3,69	7,37	95,81
27	729	38,90	1513,00	1050,23	3,66	7,32	98,84
28	784	37,66	1418,00	1054,38	3,63	7,26	101,60
29	841	40,80	1665,00	1183,33	3,71	7,42	107,55

30	900	33,96	1153,00	1018,68	3,53	7,05	105,75
31	961	39,29	1544,00	1218,11	3,67	7,34	113,80
32	1024	44,0	1933,00	1406,91	3,78	7,57	121,07
33	1089	47,1	2221,00	1555,21	3,85	7,71	127,14
34	1156	48,1	2312,00	1634,83	3,87	7,75	131,68
35	1225	44,0	1933,00	1538,81	3,78	7,57	132,42
36	1296	43,0	1850,00	1548,42	3,76	7,52	135,41
37	1369	43,0	1850,00	1591,43	3,76	7,52	139,17
38	1444	43,0	1850,00	1634,44	3,76	7,52	142,94
39	1521	44,3	1960,00	1726,60	3,79	7,58	147,82
40	1600	39,8	1588,00	1593,99	3,69	7,37	147,40
41	1681	41,9	1756,25	1718,21	3,74	7,47	153,15
42	1764	38,6	1488,50	1620,41	3,65	7,31	153,42
43	1849	50,6	2557,00	2174,37	3,92	7,85	168,70
44	1936	45,9	2105,00	2018,73	3,83	7,65	168,35
45	2025	42,7	1825,00	1922,40	3,75	7,51	168,96
46	2116	45,2	2045,00	2080,20	3,81	7,62	175,33
47	2209	46,2	2132,00	2170,16	3,83	7,66	180,12
1.128	35.720	1950,06	81.519,30	47.702,74	174,92	349,84	4.219,40

Berdasarkan hasil nilai dari tabel penolong diatas, maka dapat digunakan untuk mencari nilai re dan rl dengan Persamaan 4-31 dan 4-32.

- Koefisien korelasi linier (rl)

$$rl = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n Y_t)^2]}$$

$$rl = \frac{(47 \times 47.702,74) - (1.128 \times 1.950,06)}{[(47 \times 35.720) - (1128)^2] \times [(47 \times 81.519,3) - (1950,06)^2]}$$

$$rl = \frac{2.242.028,78 - 2.199.667,68}{(1.678.840 - 1.272.384) \times (3.831.407,1 - 3.802.734,0036)} \quad (4-31)$$

$$rl = \frac{42.361,1}{406.456 \times 28.673,096}$$

$$rl = 0,000003637$$

- Koefisien korelasi non linear/eksponensial (re)

$$re = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t \cdot \ln Y_t - (\sum_{i=1}^n t) \cdot (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)}{[n \cdot \sum_{i=1}^n t^2 - (\sum_{i=1}^n t)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n \ln Y_t^2 - (\sum_{i=1}^n \ln Y_t)^2]}$$

$$re = \frac{(47 \times 4.219,4) - (1.128 \times 174,92)}{[(47 \times 35.720) - (1.128)^2] \times [(47 \times 349,84) - (349,84)^2]}$$

$$re = \frac{198.311,8 - 197.309,76}{(1.678.840 - 1.272.384) \times (16.442,49 - 122.388,0256)} \quad (4-32)$$

$$re = \frac{1.002,04}{406.456 \times (-105.945,5456)}$$

$$re = -0,000009438$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan 4-31 dan 4-32, diketahui bahwa nilai  $r_l$  lebih besar dari nilai  $r_e$ , maka tren yang digunakan adalah tren linier. Sebelum menghitung tren linier perlu mencari nilai konstanta  $a$  dan  $b$  dengan Persamaan 4-33 dan 4-34.

- Mencari nilai konstanta  $a$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y_t) (\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t) (\sum_{i=1}^n t \cdot Y_t)}{(n) (\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t)^2}$$

$$a = \frac{(1.950,06)(35.720) - (1.128)(47.702,74)}{(47)(35.720) - (1.128)^2}$$

$$a = \frac{69.656.143,2 - 53.808.690,72}{1.678.840 - 1.272.384} \quad (4-33)$$

$$a = \frac{15.847.452,48}{406.456}$$

$$a = 38,98$$

- Mencari nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum_{i=1}^n t \cdot Y_t) - (\sum_{i=1}^n t)(\sum_{i=1}^n Y_t)}{(n)(\sum_{i=1}^n t^2) - (\sum_{i=1}^n t)^2}$$

$$b = \frac{(47)(47.702,74) - (1.128)(1950,06)}{(47)(35.720) - (1.128)^2}$$

$$b = \frac{2.242.028,78 - 2.199.667,68}{1.678.840 - 1.272.384} \quad (4-34)$$

$$b = \frac{42.361,1}{406.456}$$

$$b = 0,1042$$

Maka persamaan tren nya adalah seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 4-35.

$$T_t = 38,98 + 0,1042.t \quad (4-35)$$

Pada tahap ini, data yang digunakan ialah sebanyak 36 data mulai dari data ke 6 atau data bulan Januari 2021 sampai data ke 41 atau data bulan desember 2023.

- Mencari nilai  $T_6$  bulan Januari 2021 dengan Persamaan 4-36.

$$T_6 = 38,98 + 0,1042 \times 6 \quad (4-36)$$

$$T_6 = 39,62$$

- Mencari nilai  $C_6$  bulan Januari 2021 dengan Persamaan 4-37.

$$C_6 = \frac{39,83}{39,62} \quad (4-37)$$

$$C_6 = 1,0055$$

Untuk nilai  $T_t$  dan  $C_t$  lainnya dihitung dengan Persamaan 4-36 dan 4-37 dan hasilnya seperti yang tertera pada Tabel 4.30.

Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Tren Linier dan Komponen Siklus Transformator 2

t	Yt	Mt	Tt	Ct
6	40,80	39,83	39,62	1,0055
7	34,89	40,35	39,72	1,0159
8	35,67	40,76	39,82	1,0235
9	41,27	41,30	39,93	1,0343
10	42,00	41,10	40,03	1,0266
11	45,85	41,31	40,14	1,0292
12	41,11	41,31	40,24	1,0265
13	43,01	41,80	40,34	1,0361
14	43,64	42,49	40,45	1,0505
15	45,22	42,71	40,55	1,0533
16	41,11	42,65	40,66	1,0489
17	41,11	42,13	40,76	1,0335
18	40,80	41,61	40,87	1,0183
19	40,80	37,54	40,97	0,9162
20	43,96	40,62	41,07	0,9890
21	43,96	40,10	41,18	0,9737
22	41,18	39,81	41,28	0,9643
23	39,62	39,78	41,39	0,9612
24	34,93	39,21	41,49	0,9451
25	34,93	39,09	41,59	0,9397
26	39,85	39,09	41,70	0,9373
27	38,90	39,35	41,80	0,9413
28	37,66	39,93	41,91	0,9527
29	40,80	40,29	42,01	0,9590
30	33,96	40,96	42,12	0,9726
31	39,29	41,64	42,22	0,9861
32	44,0	41,90	42,32	0,9899
33	47,1	42,35	42,43	0,9981
34	48,1	42,53	42,53	0,9999
35	44,0	42,62	42,64	0,9996
36	43,0	43,01	42,74	1,0062
37	43,0	43,95	42,85	1,0257
38	43,0	44,11	42,95	1,0269
39	44,3	43,74	43,05	1,0159
40	39,8	43,50	43,16	1,0079
41	41,9	43,68	43,26	1,0097

Setelah mendapatkan nilai  $C_t$  dari semua variabel data, kemudian mencari nilai rata-rata  $C_t$  seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 4-37.

$$Rata - rata C_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_t}{36}$$

$$Rata - rata C_t = \frac{35,9204}{36} \quad (4-38)$$

$$Rata - rata C_t = 0,9977$$

Setelah nilai  $T_t, S_t$ , dan rata-rata  $C_t$  diketahui, maka dapat menghitung nilai peramalan ( $F_t$ ). Beban puncak yang akan diramalkan adalah mulai bulan Januari – Desember 2024. Perhitungan ramalan beban transformator 2 bulan Januari tahun 2024 adalah seperti pada Persamaan 4-39.

$$F_{42} = ( 39,98 + 0,1042 \times 42 ) + 0,9422 + 0,9977$$

$$F_{42} = 40,8 \text{ MVA} \quad (4-39)$$

Untuk bulan lainnya dihitung menggunakan persamaan 4-39 dengan hasil seperti pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 Hasil Peramalan Beban Trafo 2 Tahun 2024 dengan Metode Tren Dekomposisi

BULAN	PREDIKSI
Januari	40,8
Februari	41,8
Maret	43,5
April	46,5
Mei	46,3
Juni	45,7
Juli	42,1
Agustus	42,4
September	44,3
Oktober	45,0
November	41,6
Desember	43,5

#### 4.2.4 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 2

Berdasarkan perhitungan dan hasil yang telah didapatkan, maka diketahui nilai peramalan beban transformator 2 tahun 2024 seperti yang tertera pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Transformator 2

Bulan	Beban Peramalan		Beban Aktual
	Regresi Linear Sederhana	Tren Dekomposisi	
Januari	42,81	40,8	38,6
Februari	42,90	41,8	50,6
Maret	42,99	43,5	45,9
April	43,08	46,5	42,7
Mei	43,17	46,3	45,2
Juni	43,26	45,7	46,2
Juli	43,35	42,1	42,4
Agustus	43,45	42,4	44,9
September	43,54	44,3	40,8
Oktober	43,63	45,0	52,9
November	43,72	41,6	48,7
Desember	43,81	43,5	49,0

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.31, dihitung akurasi peramalan dengan metode MAPE.

- Perhitungan MAPE metode regresi linear sederhana ditunjukkan pada Persamaan 4-40.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) \times 100\%}{n}$$

$$MAPE = \frac{\left( \frac{547,9 - 519,7}{547,9} \right) \times 100\%}{12} \quad (4-40)$$

$$MAPE = 0,43 \%$$

- Perhitungan MAPE metode tren dekomposisi ditunjukkan pada Persamaan 4-41.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) \times 100\%}{n}$$

$$MAPE = \frac{\left( \frac{547,9 - 523,43}{547,9} \right) \times 100\%}{12} \quad (4-41)$$

$$MAPE = 0,37 \%$$

Berdasarkan perhitungan MAPE pada Persamaan 4-40 dan 4-41, maka dapat disimpulkan metode terbaik untuk meramalkan beban transformator 2 GI 150 KV Weleri adalah metode dekomposisi.

#### 4.2.5 Hasil Peramalan Beban Puncak

Hasil peramalan beban puncak transformator 2 tahun 2025 – 2034 menggunakan metode dekomposisi ditunjukkan oleh Tabel 4.32 – 4.41.

Tabel 4.32 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2025

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	41,9
Februari	42,9
Maret	44,7
April	47,8
Mei	47,6
Juni	47,0
Juli	43,3
Agustus	43,6
September	45,6
Oktober	46,2
November	42,8
Desember	44,7

Tabel 4.33 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2026

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	43,1
Februari	44,2
Maret	45,9
April	49,1
Mei	48,9
Juni	48,3
Juli	44,5
Agustus	44,8
September	46,8
Oktober	47,5
November	43,9
Desember	46,0

Tabel 4.34 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2027

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	44,3
Februari	45,4
Maret	47,2
April	50,5
Mei	50,2
Juni	49,6
Juli	45,7
Agustus	46,0
September	48,1
Oktober	48,8
November	45,1
Desember	47,2

Tabel 4.35 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2028

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	45,5
Februari	46,6
Maret	48,4
April	51,8
Mei	51,6
Juni	50,9
Juli	46,9
Agustus	47,2
September	49,3
Oktober	50,0
November	46,3
Desember	48,4

Tabel 4.36 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2029

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	46,6
Februari	47,8
Maret	49,7
April	53,1
Mei	52,9
Juni	52,2
Juli	48,1
Agustus	48,5
September	50,6
Oktober	51,3
November	47,4
Desember	49,6

Tabel 4.37 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2030

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	47,8
Februari	49,0
Maret	50,9
April	54,5
Mei	54,2
Juni	53,5
Juli	49,3
Agustus	49,7
September	51,8
Oktober	52,6
November	48,6
Desember	50,9

Tabel 4.38 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2031

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	49,0
Februari	50,2
Maret	52,2
April	55,8
Mei	55,5
Juni	54,8
Juli	50,5
Agustus	50,9
September	53,1
Oktober	53,8
November	49,8
Desember	52,1

Tabel 4.39 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2032

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	50,2
Februari	51,4
Maret	53,4
April	57,1
Mei	56,9
Juni	56,1
Juli	51,7
Agustus	52,1
September	54,3
Oktober	55,1
November	51,0
Desember	53,3

Tabel 4.40 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2033

BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	51,3
Februari	52,6
Maret	54,7
April	58,5
Mei	58,2
Juni	57,4
Juli	52,9
Agustus	53,3
September	55,6
Oktober	56,4
November	52,1
Desember	54,5

Tabel 4.41 Hasil Peramalan Beban Transformator 2 Tahun 2034

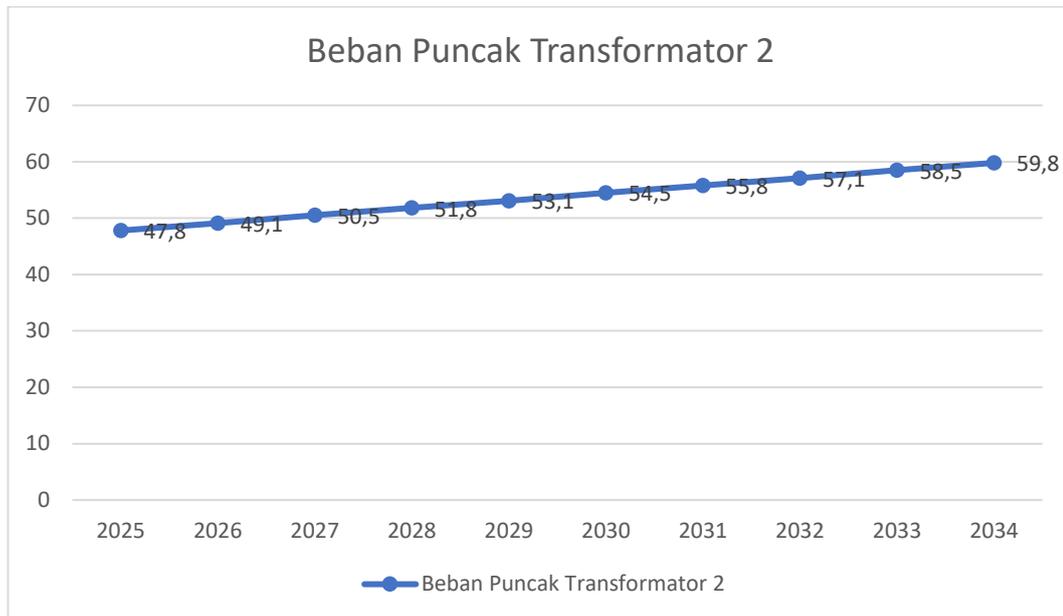
BULAN	BEBAN TRANSFORMATOR 2 (MVA)
Januari	52,5
Februari	53,8
Maret	55,9
April	59,8
Mei	59,5
Juni	58,7
Juli	54,1
Agustus	54,5
September	56,8
Oktober	57,6
November	53,3
Desember	55,8

Setelah mengetahui nilai peramalan beban bulanan transformator 2 pada masing-masing tahun, maka kita dapat menentukan nilai beban puncak pada masing-masing tahun, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Beban Puncak Transformator 2 Tahun 2025-2034

TAHUN	BEBAN PUNCAK
2025	47,8
2026	49,1
2027	50,5
2028	51,8
2029	53,1
2030	54,5
2031	55,8
2032	57,1
2033	58,5
2034	59,8

Berdasarkan Tabel 4.42 dapat dibuat grafik pertumbuhan beban puncak transformator 2 seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator 2 tahun 2025-2034

#### 4.2.6 Evaluasi Kelayakan Pakai Transformator 2 GI 150 KV Weleri

Berdasarkan hasil peramalan beban puncak transformator 2 selama 10 tahun mendatang yaitu dari tahun 2025-2034 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.42. Maka kita dapat melakukan evaluasi kelayakan pakai transformator berdasarkan perhitungan persentase pembebanan transformator sesuai dengan Persamaan 4-42.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase}_{2025} &= \frac{\text{Beban Puncak}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \\
 \text{Persentase}_{2025} &= \frac{47,81}{60} \times 100\% \tag{4-42}
 \end{aligned}$$

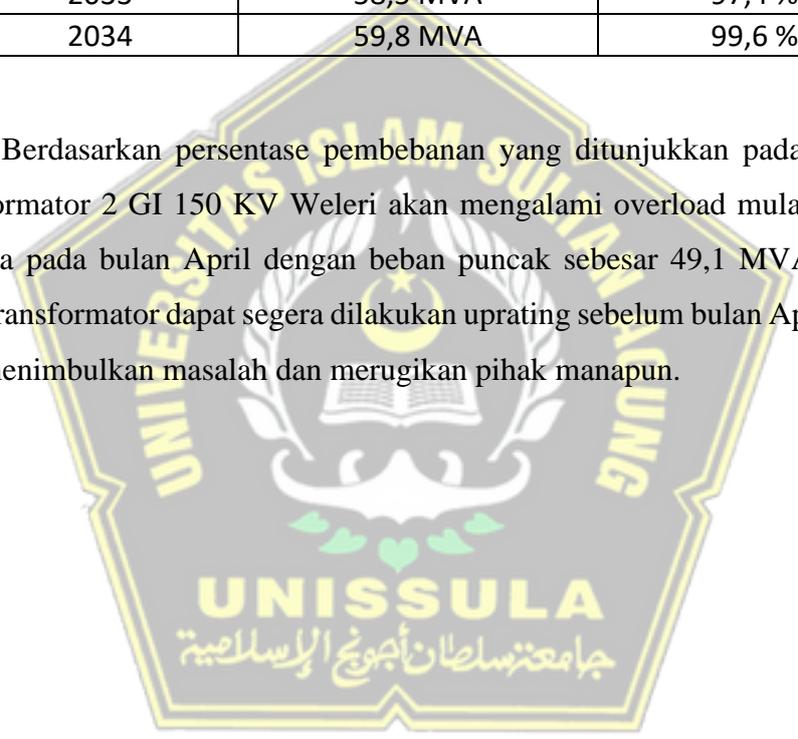
$$\text{Persentase}_{2025} = 79,6\%$$

Untuk persentase lainnya dihitung dengan Persamaan 4-42, hasilnya ditulis pada tabel 4.43.

Tabel 4.43 Persentase Beban Transformator 2 Tahun 2025-2034

TAHUN	BEBAN PUNCAK	PERSENTASE BEBAN
2025	47,8 MVA	79,6 %
2026	49,1 MVA	81,9 %
2027	50,5 MVA	84,1 %
2028	51,8 MVA	86,3 %
2029	53,1 MVA	88,5 %
2030	54,5 MVA	90,7 %
2031	55,8 MVA	93,0 %
2032	57,1 MVA	95,2 %
2033	58,5 MVA	97,4 %
2034	59,8 MVA	99,6 %

Berdasarkan persentase pembebanan yang ditunjukkan pada Tabel 4.43. Transformator 2 GI 150 KV Weleri akan mengalami overload mulai tahun 2026 tepatnya pada bulan April dengan beban puncak sebesar 49,1 MVA. Sebaiknya untuk transformator dapat segera dilakukan uprating sebelum bulan April 2024 agar tidak menimbulkan masalah dan merugikan pihak manapun.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode Tren Dekomposisi dapat meramalkan beban secara fluktuatif atau naik turun karena pengaruh perhitungan dan pemisahan data komponen musim dan komponen siklus. Sedangkan pada regresi linear sederhana hanya dapat meramalkan kenaikan beban secara linear atau terus meningkat. Pada penelitian ini lebih cocok menggunakan metode dekomposisi karena variabel yang digunakan hanya beban puncak bulanan dimana nilainya fluktuatif.
2. Pada transformator 1 dan transformator 2, metode terbaik untuk meramalkan beban puncak adalah metode dekomposisi dengan nilai MAPE sebesar 0,51 % dan 0,37 %, sedangkan dengan metode regresi linear sederhana diperoleh MAPE sebesar 1,89% dan 0,43 %.
3. Transformator 1 masih layak digunakan sampai tahun 2034 dan tidak mengalami overload. Dengan beban puncak pada tahun 2034 sebesar 47,13 MVA dan persentase sebesar 78,5 % dari total kapasitas trafo. Sedangkan transformator 2 mengalami overload pada bulan April 2026 dengan nilai beban sebesar 49,1 MVA atau 81,9% dari total kapasitas transformator dan harus segera dilakukan uprating.

## 5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang sudah dibahas,beberapa saran yang dapat peneliti berikan, sebagai berikut:

1. Metode penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini dapat diterapkan pada transformator lain.
2. Berdasarkan hasil perhitungan peramalan pembebanan Gardu Induk 150 kV Weleri, maka Transformator 1 masih layak digunakan sampai tahun 2034 dan tidak mengalami overload. Transformator 2 mengalami overload pada bulan April 2026 dengan nilai beban sebesar 49,1 MVA atau 81,9% dari total kapasitas transformator dan harus segera dilakukan uprating.
3. Agar hasil peramalan lebih akurat, bisa menambah parameter seperti jumlah pelanggan listrik, pengaruh suhu, minyak, dll.



## DAFTAR PUSTAKA

- As, N.R. *et al.* (2024) 'Analisa Penurunan Usia Transformator 1250 kVA Akibat Pembebanan pada Transformator di Rumah Sakit Swasta', 34(1), pp. 52–63.
- Azis, F. and Lembang, N. (2022) 'STUDI PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TIPE VOLTRA 100 kVA', *Joule (Journal of Electrical Engineering)*, 3(2), pp. 160–165. Available at: <https://doi.org/10.61141/joule.v3i2.320>.
- Hasan, M. and Paleba, B. (2023) 'Perhitungan Proyeksi Beban Transformator Dalam Perencanaan Kapasitas Gardu Induk 150 Kv', 3(3), pp. 445–459.
- Husdi, H. and Dalai, H. (2023) 'Penerapan Metode Regresi Linear Untuk Prediksi Jumlah Bahan Baku Produksi Selai Bilfagi', *Jurnal Informatika*, 10(2), pp. 129–135. Available at: <https://doi.org/10.31294/inf.v10i2.14129>.
- Murti, R.J. (2022) 'Aplikasi matlab dalam analisis susut umur transformator distribusi dengan metode montsinger di pt.pln (persero) ulp pedan'.
- Nabillah, I. and Ranggadara, I. (2020) 'Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut', *JOINS (Journal of Information System)*, 5(2), pp. 250–255. Available at: <https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900>.
- Novanda, D. and Hidayati, R. (2024) 'Prediction of The Number of Pulmonary Tuberculosis Disease Using The Moving Average Forecasting Method And Time Series Decomposition', *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 18(1), pp. 37–45. Available at: <https://doi.org/10.35457/antivirus.v18i1.3468>.
- Nugraha, A.R.I. and Fauziah, D. (2023) 'Analisis Overload Transformator Distribusi di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut'.
- PT. PLN (Persero) (2014) *Edaran Direksi Pt. Pln (Persero)*. 0017.E/DIR/2014. Jakarta.
- Rani, H.A. and Arlianti, N. (2024) *Dasar-Dasar Statistika dan Probabilitas dalam Ilmu Sains*. CV BUDI UTAMA.
- Rohmat, K. and Riyadi, M. (2023) 'Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Updl Pandaan', *Transmisi:*

*Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(4), pp. 186–192. Available at: <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.4.186-192>.

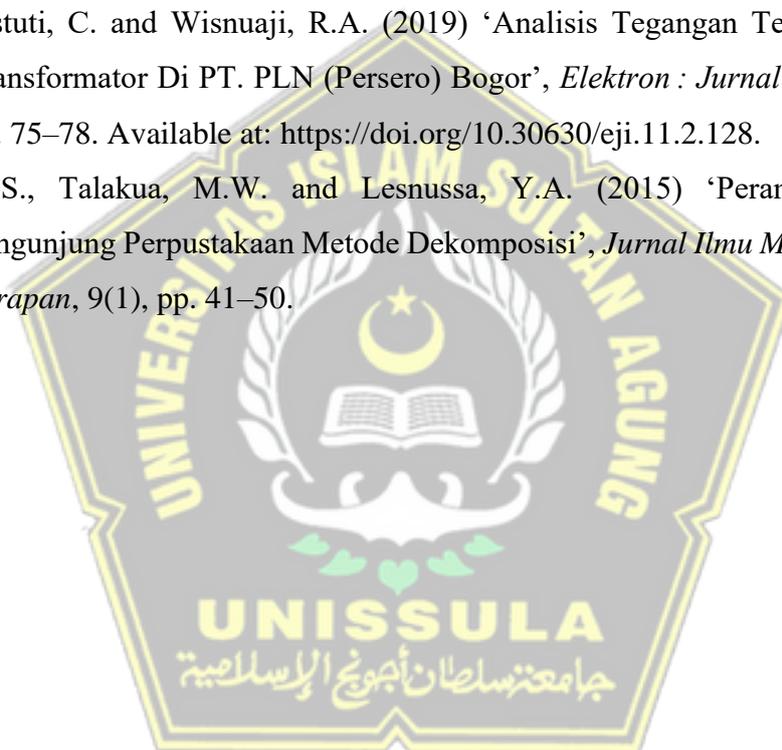
Sadi, S. (2020) ‘PENGUKURAN PERBANDINGAN BELITAN PADA TRANSFORMATOR 3 PHASA 50 Hz 250 kVA’, *Jurnal Teknik*, 3(2), pp. 67–74. Available at: <https://doi.org/10.31000/jt.v3i2.1381>.

Suswanto, D. (2009) *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garamound.

Syamsir (2018) ‘Analisis peramalan masa pakai transformator berdasarkan beban menggunakan metode regresi linear’.

Widyastuti, C. and Wisnuaji, R.A. (2019) ‘Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor’, *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 11(2), pp. 75–78. Available at: <https://doi.org/10.30630/eji.11.2.128>.

Yuni, S., Talakua, M.W. and Lesnussa, Y.A. (2015) ‘Peramalan Jumlah Pengunjung Perpustakaan Metode Dekomposisi’, *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 9(1), pp. 41–50.



LAMPIRAN





## Peramalan Beban Puncak Transformator Dengan Metode Dekomposisi Di Gardu Induk 150 KV Weleri

Prasetyo Wahyu Aji Ritabin<sup>1\*</sup>, Sri Arttini Dwi P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

[wahyu.tyo242@std.unissula.ac.id](mailto:wahyu.tyo242@std.unissula.ac.id)<sup>1</sup>

Alamat: Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah

Korespondensi penulis: [wahyu.tyo242@std.unissula.ac.id](mailto:wahyu.tyo242@std.unissula.ac.id)

**Abstract.** *Electrical energy is essential for modern life, with demand increasing every year. Therefore, the development of electric power systems, including energy supply, transmission, and distribution, needs to be well planned. Transformers in substations play a vital role in converting high voltage of 150 kV to medium voltage of 20 kV to be distributed to customers. However, transformers that experience overloading can cause problems. According to the Directors' Circular Letter Number 0017.E/DIR/2014, the ideal transformer loading should be between 60% and 80%. Therefore, it is important to keep the transformer operating within safe limits to prevent disruption or damage to the electricity distribution system. One step to prevent transformer damage is to forecast peak loads in the future. There are many load forecasting methods that can be used. In this study, load forecasting was carried out using the simple linear regression method and the trend decomposition method. After the load forecasting is carried out, the accuracy of each method will be compared by calculating the MAPE value. In addition, transformer usability tests will also be carried out based on the estimated loading percentage in the next 10 years.*

**Keywords :** *Transformer, Forecasting, Peak Load, Decomposition*

**Abstrak.** Energi listrik sangat penting bagi kehidupan modern, dengan permintaan yang terus meningkat setiap tahun. Oleh karena itu, pengembangan sistem tenaga listrik, termasuk penyediaan energi, transmisi, dan distribusi, perlu direncanakan dengan baik.. Transformator di gardu induk memiliki peran vital dalam mengubah tegangan tinggi 150 kV menjadi tegangan menengah 20 kV untuk disalurkan ke pelanggan. Namun, transformator yang mengalami pembebanan melebihi kapasitas dapat menyebabkan masalah. Menurut Surat Edaran Direksi Nomor 0017.E/DIR/2014, pembebanan ideal transformator sebaiknya antara 60% hingga 80%. Oleh karena itu, penting untuk menjaga agar transformator beroperasi dalam batas aman guna mencegah gangguan atau kerusakan dalam sistem distribusi listrik. Salah satu langkah pencegahan kerusakan transformator adalah dengan meramalkan beban puncak pada masa mendatang. Terdapat banyak metode peramalan beban yang dapat digunakan. Pada penelitian ini, peramalan beban dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode tren dekomposisi. Setelah peramalan beban dilakukan, akan dibandingkan akurasi masing-masing metode dengan menghitung nilai MAPE. Selain itu, uji kelayakan pakai transformator juga dilakukan berdasarkan persentase pembebanan yang diperkirakan dalam 10 tahun mendatang.

**Kata kunci :** Transformator, Peramalan, Beban Puncak, Dekomposisi

## 1. LATAR BELAKANG

Energi listrik merupakan sumber energi krusial bagi kehidupan modern, dengan permintaan yang terus meningkat. Pengembangan sistem tenaga listrik, termasuk penyediaan energi, transmisi, dan distribusi, perlu direncanakan dengan matang. Salah satu aspek penting dalam sistem ini adalah gardu induk, yang berfungsi menghubungkan dan mendistribusikan listrik dari pembangkit ke konsumen. Transformator di gardu induk berperan vital dalam mengubah tegangan tinggi 150 kV menjadi tegangan menengah 20 kV untuk pelanggan. Namun, transformator yang kelebihan beban dapat menimbulkan masalah. Menurut Surat Edaran Direksi Nomor 0017.E/DIR/2014, pembebanan ideal transformator sebaiknya antara 60% hingga 80%. Oleh karena itu, menjaga agar transformator beroperasi dalam batas aman sangat penting untuk mencegah gangguan dalam sistem distribusi listrik. Penelitian ini bertujuan meramalkan beban puncak transformator pada Gardu Induk 150 kV Weleri hingga 10 tahun mendatang. Tujuannya adalah untuk merencanakan perawatan atau penggantian unit transformator guna mencegah kerusakan. Metode peramalan yang digunakan adalah regresi linear sederhana dan tren dekomposisi, dengan evaluasi akurasi menggunakan MAPE. Selain itu, akan dilakukan uji kelayakan pakai transformator berdasarkan pembebanan yang diperkirakan dalam 10 tahun ke depan.

## 2. KAJIAN TEORITIS

Transformator adalah perangkat yang mengubah energi listrik dari satu tegangan dan arus ke tegangan dan arus lainnya dengan daya yang tetap sama. Alat ini sangat penting dalam sistem kelistrikan untuk menyesuaikan tegangan sesuai kebutuhan, seperti dalam pembangkit listrik, di mana transformator digunakan untuk menaikkan tegangan guna mengurangi kerugian energi pada transmisi.

Beban puncak listrik merujuk pada jumlah daya listrik maksimum yang dibutuhkan pada waktu tertentu dalam sistem kelistrikan, sering terjadi pada waktu konsumsi listrik tertinggi, seperti saat musim panas atau malam hari saat banyak peralatan listrik digunakan. Peramalan beban puncak adalah metode untuk memprediksi kebutuhan daya listrik pada waktu puncak di masa depan, yang sangat

penting bagi perusahaan penyedia listrik seperti PLN untuk merencanakan pembangkit, transmisi, dan distribusi dengan efisien.(Azis & Lembang, 2022)

Analisis regresi linier adalah metode statistik untuk mengukur hubungan antara satu variabel bebas (independen) dan satu atau lebih variabel terikat (dependen). Dalam peramalan beban listrik, variabel independen dapat berupa faktor seperti suhu atau waktu, sedangkan variabel dependen adalah beban listrik yang ingin diprediksi. Regresi linier membantu menentukan seberapa kuat hubungan antar variabel dan memprediksi beban listrik di masa depan.(Rani & Arlianti, 2024)

Persamaan Regresi Linear Sederhana adalah sebagai berikut :

$$Y = a + bx \quad (1-1)$$

dimana :

- Y = garis regresi/ variable *response*
- a = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal
- b = konstanta regresi (*slope*)
- X = variabel bebas/ *predictor*

**Metode dekomposisi** adalah teknik peramalan yang digunakan untuk memecah data deret waktu (time series) menjadi beberapa komponen utama yaitu tren, musiman, siklus, dan error. Metode dekomposisi bertujuan untuk mengidentifikasi dan memisahkan setiap komponen ini, sehingga peramalan masa depan bisa lebih akurat dengan mempertimbangkan pola yang ada di dalam data historis.(Novanda & Hidayati, 2024)

Diketahui persamaan dekomposisi multiplikatif adalah sebagai berikut (Yuni et al., 2015) :

$$Y_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t \quad (1-2)$$

- $Y_t$  = Nilai aktual data pada periode t
- $T_t$  = Komponen tren
- $S_t$  = Komponen Musiman
- $C_t$  = Komponen Siklus
- $I_t$  = Komponen Error

## Penelitian Sebelumnya

Menurut Nugraha dan Fauziah (2023) pada penelitian berjudul **Analisis Overload Transformator Distribusi di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut**. Untuk menganalisis metode perbaikan bagi kondisi overload pada Transformator Distribusi 100 kVA di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut dengan menggunakan cara memperkirakan nilai persentase beban puncak transformator dengan metode regresi linear dan metode uprating untuk mengatasi transformator yang overload.

Menurut Syamsir (2018) pada penelitian yang berjudul **Analisis Peramalan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linear**. Untuk mengetahui periode masa pakai transformator pada gardu induk area Lenteng Agung, Jakarta Selatan dengan menggunakan metode regresi linear dan uji validasi dengan software minitab. Data yang diambil adalah beban puncak transformator pada siang dan malam hari selama 4 tahun yaitu dari 2014-2017 dengan periode waktu pengambilan selama 3 bulan sekali. Rentang waktu peramalan masa pakai transformator yang digunakan adalah selama 12 tahun yaitu dari 2018-2030. Hasil penelitian ini bahwa Trafo 1 dengan tipe JGK6 400 kVA tahun pemasangan 2006 memiliki masa pakai yang panjang hingga 2030 dengan sisa periode 1 tahun 9 bulan, nilai persentase beban puncaknya adalah 72,24 % pada siang hari dan 77,87% pada malam hari. Trafo 2 dengan tipe RG72 630 kVA tahun pemasangan 2008 memiliki masa pakai hanya sampai 2026 dengan sisa periode 1 tahun 9 bulan, nilai persentase beban puncaknya adalah 72,98 % pada siang hari dan 83,81% pada malam hari. Trafo 3 dengan tipe RG98P 400 kVA tahun pemasangan 2007 memiliki masa pakai sampai 2024 dengan sisa periode 1 tahun, nilai persentase beban puncaknya adalah 76,15 % pada siang hari dan 83,41 % pada malam hari. Trafo 3 dengan tipe RG168 630 kVA tahun pemasangan 2006 memiliki masa pakai yang panjang hingga 2027 dengan sisa periode 1 tahun, nilai persentase beban puncaknya adalah 78,44 % pada siang hari dan 81,08 % pada malam hari.

## 3. METODE PENELITIAN

Berikut adalah uraian mengenai metode penelitian yang digunakan dalam studi ini :

1. Lokasi dan waktu penelitian dilakukan di Gardu Induk 150 KV Weleri selama 1 minggu pada 17-21 Februari 2025.

## 2. Teknik Pengumpulan Data

Wawancara: dilakukan dengan supervisor dan karyawan GI 150 KV Weleri untuk mendapatkan informasi terkait kondisi transformator yang ada di GI 150 KV Weleri

Dokumentasi: Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan menganalisis dokumen-dokumen pencatatan beban harian dan laporan beban bulanan transformator GI 150 KV Weleri.

3. Teknik Analisis Data: Data diolah dan dianalisa menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode dekomposisi.
4. Data Penelitian: Data spesifikasi transformator, single line diagram GI 150 Weleri dan data beban bulanan transformator
5. Tahap Penelitian: Diawali dengan studi literatur terkait topik bahasan yang diambil serta mempelajari metode yang digunakan. Kemudian mengumpulkan data yang dibutuhkan dan diolah. Hasil pengolahan data dianalisa dan diambil kesimpulan serta saran yang akan disampaikan ke pihak GI 150 KV Weleri.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perbandingan Metode Regresi Linear Sederhana dan Metode Dekomposisi

Hasil analisis data menunjukkan bahwa metode terbaik untuk meramalkan beban transformator 1 & 2 adalah metode dekomposisi dengan nilai MAPE sebesar 0,51 % dan 0,37 %.

Tabel 1 Hasil peramalan beban transformator 1 tahun 2024

Bulan	Beban Peramalan		Beban Aktual
	Regresi Linear	Dekomposisi	
Januari	24,09	28,42	25,0
Februari	24,11	28,67	29,7
Maret	24,13	28,90	42,4
April	24,14	28,82	24,0
Mei	24,16	29,01	26,6
Juni	24,17	29,56	26,8
Juli	24,19	29,53	28,7
Agustus	24,20	29,68	28,4
September	24,22	29,63	29,4
Oktober	24,24	29,91	38,3
November	24,25	29,93	37,6
Desember	24,27	30,09	38,4

Tabel 2 Hasil peramalan beban transformator 2 tahun 2024

Bulan	Beban Peramalan		Beban Aktual
	Regresi Linear	Tren	
Januari	42,81	40,8	38,6
Februari	42,90	41,8	50,6
Maret	42,99	43,5	45,9
April	43,08	46,5	42,7
Mei	43,17	46,3	45,2
Juni	43,26	45,7	46,2
Juli	43,35	42,1	42,4
Agustus	43,45	42,4	44,9
September	43,54	44,3	40,8
Oktober	43,63	45,0	52,9
November	43,72	41,6	48,7
Desember	43,81	43,5	49,0

Berdasarkan tabel diatas, diketahui bahwa hasil peramalan dari metode regresi linear sederhana cenderung linier dan meningkat. Sedangkan hasil peramalan metode dekomposisi cenderung fluktuatif atau naik turun mengikuti pola-pola tertentu.

#### 4.2 Peramalan Beban Puncak Transformator tahun 2025-2034

Karena sudah diketahui metode terbaik untuk meramalkan beban transformator adalah metode dekomposisi maka berikut hasil peramalan beban puncak tahun 2025-2034 dan hasil persentase pembebanannya.

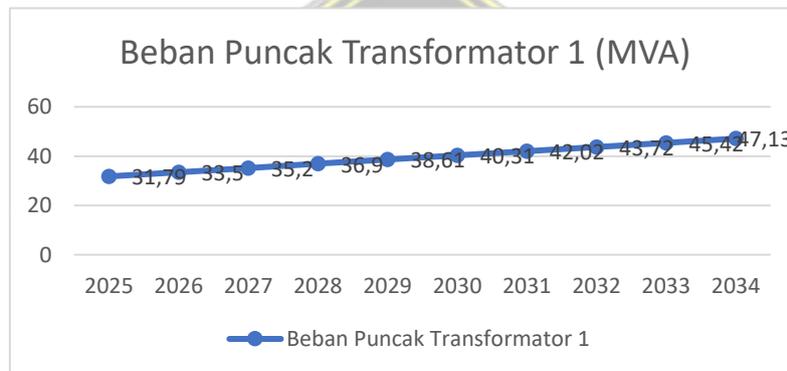
Tabel 3 Hasil Peramalan Beban Puncak Transformator 1 tahun 2025-2034

TAHUN	BEBAN PUNCAK	PERSENTASE BEBAN
2025	31,79 MVA	52,9 %
2026	33,50 MVA	55,8 %
2027	35,20 MVA	58,7 %
2028	36,90 MVA	61,5 %
2029	38,61 MVA	64,3 %
2030	40,31 MVA	67,2 %
2031	42,02 MVA	70,0 %
2032	43,72 MVA	72,9 %
2033	45,42 MVA	75,7 %
2034	47,13 MVA	78,5 %

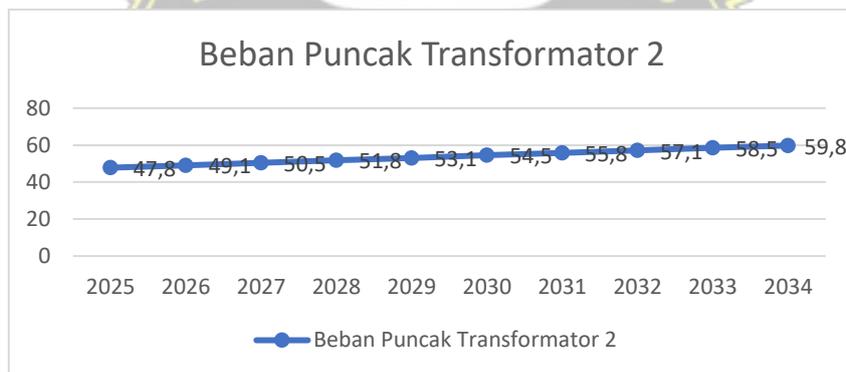
Tabel 4 Hasil Peramalan Beban Puncak Transformator 2 tahun 2025-2034

TAHUN	BEBAN PUNCAK	PERSENTASE BEBAN
2025	47,8 MVA	79,6 %
2026	49,1 MVA	81,9 %
2027	50,5 MVA	84,1 %
2028	51,8 MVA	86,3 %
2029	53,1 MVA	88,5 %
2030	54,5 MVA	90,7 %
2031	55,8 MVA	93,0 %
2032	57,1 MVA	95,2 %
2033	58,5 MVA	97,4 %
2034	59,8 MVA	99,6 %

Dari tabel diatas dapat digambarkan grafik pertumbuhan beban transformator 1 dan transformator 2 sebagai berikut :



Gambar 1 Grafik pertumbuhan beban transformator 1 tahun 2025-2034



Gambar 2 Grafik pertumbuhan beban transformator 2 tahun 2025-2034

Berdasarkan hasil penggambaran grafik diatas, diketahui bahwa beban puncak transformator setiap tahun mengalami peningkatan. Transformator 1 masih layak digunakan hingga tahun 2034 karena persentase pembebanannya masih dibawah 80 %. Sedangkan transformator 2 mengalami overload pada tahun 2026 tepatnya pada bulan april dengan persentase pembebanan sebesar 81,9 % dan beban puncak sebesar 49,1 %

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada transformator 1, metode terbaik untuk meramalkan beban puncak adalah metode tren dekomposisi dengan nilai MAPE sebesar 0,51 %, sedangkan dengan metode MAPE diperoleh MAPE sebesar 1,89%. Pada transformator 2, metode terbaik untuk meramalkan beban puncak adalah metode tren dekomposisi dengan nilai MAPE sebesar 0,37 % , sedangkan dengan metode MAPE diperoleh MAPE sebesar 0,43 %. Transformator 1 masih layak digunakan sampai tahun 2034 dan tidak mengalami overload. Dengan beban puncak pada tahun 2034 sebesar 47,13 MVA dan persentase sebesar 78,5 % dari total kapasitas trafo. Kemungkinan Transformator 1 akan mengalami overload pada tahun 2035 karena pada tahun 2034 persentase beban transformator sudah mendekati 80 %. Transformator 2 mengalami overload pada bulan April 2026 dengan nilai beban sebesar 49,1 MVA atau 81,9% dari total kapasitas transformator dan harus segera dilakukan uprating. Metode Dekomposisi dapat meramalkan beban secara fluktuatif atau naik turun karena pengaruh perhitungan dan pemisahan data komponen musim dan komponen siklus. Sedangkan pada regresi linear sederhana hanya dapat meramalkan kenaikan beban secara linear atau terus meningkat.

Saran yang dapat peneliti berikan adalah metode penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini dapat diterapkan pada transformator lain. Gunakan metode peramalan sesuai dengan variabel data yang tersedia. Pada penelitian ini hanya tersedia data bulanan dengan jumlah cukup banyak sehingga lebih baik menggunakan metode dekomposisi karena data inputnya lebih banyak. Selain itu agar hasil peramalan lebih akurat, bisa menambah parameter seperti jumlah pelanggan listrik, pengaruh suhu, minyak, dll.

## DAFTAR REFERENSI

- Azis, F., & Lembang, N. (2022). STUDI PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TIPE VOLTRA 100 kVA. *Joule (Journal of Electrical Engineering)*, 3(2), 160–165. <https://doi.org/10.61141/joule.v3i2.320>
- Novanda, D., & Hidayati, R. (2024). Prediction of The Number of Pulmonary Tuberculosis Disease Using The Moving Average Forecasting Method And Time Series Decomposition. *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 18(1), 37–45. <https://doi.org/10.35457/antivirus.v18i1.3468>
- Nugraha, A. R. I., & Fauziah, D. (2023). *Analisis Overload Transformator Distribusi di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut*.
- Rani, H. A., & Arlianti, N. (2024). *Dasar-Dasar Statistika dan Probabilitas dalam Ilmu Sains* (Issue October). CV BUDI UTAMA.
- Syamsir. (2018). *Analisis peramalan masa pakai transformator berdasarkan beban menggunakan metode regresi linear*.
- Yuni, S., Talakua, M. W., & Lesnussa, Y. A. (2015). Peramalan Jumlah Pengunjung Perpustakaan Metode Dekomposisi. *Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 9(1), 41–50.

