E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 1 Tahun 2026

ANALISIS PEMILIHAN TRANSFORMATOR *STEP-UP* DENGAN KONDISI OPERASIONAL BERDASARKAN *LOAD PROFILE* DAN *LOAD LOSS FACTOR* MENGGUNAKAN METODE *SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING*

Alfa Lorenza Posse [1*], Joko [2]

[1] Mahasiswa S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

[2] Dosen S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

Email : alfa.22108@mhs.unesa.ac.id, joko@unesa.ac.id

ABSTRACT

Step-up transformers increase generator output voltage before power is transmitted to the grid. Loading variations can affect load stability, losses, and transformer efficiency. This study analyzes the operational performance of step-up transformers using Load Profile Analysis (LPA), Load Loss Factor (LLF), and energy efficiency integrated through the Simple Additive Weighting (SAW) method. Operational data from PT PLN Nusantara Power UP Gresik during January–June 2025 were analyzed for ST 1.0, ST 2.0, and ST 3.0. The results showed that ST 2.0 obtained the highest average preference value of 0.918, followed by ST 3.0 (0.895) and ST 1.0 (0.831). Therefore, ST 2.0 was identified as the transformer with the most optimal operating condition. The SAW method effectively supports transformer selection by considering multiple operational parameter.

Keywords: Step-up transformer, Load Profile Analysis, Load Loss Factor, Energy efficiency, Simple Additive Weighting.

ABSTRAK

Transformator *step-up* berfungsi menaikkan tegangan keluaran generator sebelum energi listrik disalurkan ke jaringan transmisi. Variasi pembebanan dapat memengaruhi kestabilan beban, rugi beban, dan efisiensi transformator. Penelitian ini menganalisis kondisi operasional transformator *step-up* menggunakan *Load Profile Analysis (LPA), Load Loss Factor (LLF)*, dan efisiensi energi dengan metode *Simple Additive Weighting (SAW)*. Data operasional PT PLN Nusantara Power UP Gresik periode Januari–Juni 2025 dianalisis pada transformator ST 1.0, ST 2.0, dan ST 3.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ST 2.0 memperoleh nilai preferensi tertinggi sebesar 0,918, diikuti ST 3.0 sebesar 0,895 dan ST 1.0 sebesar 0,831. Dengan demikian, ST 2.0 ditetapkan sebagai transformator dengan kondisi operasional paling optimal.

Kata Kunci: Transformator *step-up*, *Load Profile Analysis*, *Load Loss Factor*, efisiensi energi, *Simple Additive Weighting*.

Article History
Received: Juni 2026
Reviewed:Juni 2026
Published: Juni 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya melalui prinsip induksi elektromagnetik. Pada sistem pembangkitan tenaga listrik, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), transformator *step-up* memiliki peran penting untuk menaikkan tegangan keluaran generator menuju jaringan transmisi. Peningkatan tegangan tersebut diperlukan agar arus yang mengalir pada saluran transmisi menjadi lebih kecil, sehingga rugi-rugi daya dapat dikurangi dan proses penyaluran energi listrik menjadi lebih efisien [1].

Pada kondisi operasi aktual, transformator tidak selalu bekerja pada beban nominal. Perubahan beban yang terjadi akibat variasi keluaran generator dan kebutuhan sistem jaringan dapat memengaruhi arus, rugi tembaga, rugi inti, serta efisiensi energi transformator. Rugi tembaga cenderung meningkat seiring dengan kenaikan arus beban, sedangkan rugi inti relatif tetap selama transformator beroperasi [2], [3]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi performa transformator tidak cukup hanya didasarkan pada data spesifikasi atau *nameplate*, tetapi perlu dianalisis menggunakan data operasi aktual agar hasil penilaian lebih sesuai dengan kondisi lapangan.

Kestabilan beban menjadi salah satu indikator penting dalam mengevaluasi kondisi operasional transformator. Beban yang tidak stabil dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi ekuivalen dan menurunkan efisiensi operasional. Untuk menganalisis kondisi tersebut, *Load Profile Analysis (LPA)* dapat digunakan untuk menggambarkan pola variasi beban terhadap waktu, sedangkan *Load Loss Factor (LLF)* digunakan untuk memperkirakan rugi-rugi beban ekuivalen akibat variasi arus [4], [5], [6]. LPA memberikan gambaran mengenai kestabilan pembebanan, sedangkan *LLF* menunjukkan pengaruh fluktuasi beban terhadap rugi energi transformator.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas evaluasi performa transformator berdasarkan rugi-rugi daya, efisiensi, maupun pola pembebanan. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada transformator distribusi atau hanya menggunakan satu parameter teknis tertentu. Padahal, transformator *step-up* pada sistem pembangkitan memiliki karakteristik operasi yang berbeda karena pembebanannya dipengaruhi oleh keluaran generator dan kebutuhan sistem jaringan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang tidak hanya menilai satu aspek, tetapi mampu menggabungkan beberapa parameter operasional secara terukur.

Metode *Simple Additive Weighting (SAW)* merupakan salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang dapat digunakan untuk menentukan alternatif terbaik berdasarkan kriteria dan bobot tertentu. Metode ini memiliki konsep yang sederhana, sistematis, dan mampu menghasilkan nilai preferensi dari beberapa alternatif yang dibandingkan [7], [8]. Dalam penelitian ini, metode *SAW* digunakan untuk mengintegrasikan parameter *LPA, LLF*, dan efisiensi energi. Parameter *LPA* dan efisiensi energi diperlakukan sebagai kriteria *benefit*, sedangkan *LLF* diperlakukan sebagai kriteria *cost*.

Penelitian ini dilakukan pada transformator *step-up* di PT PLN Nusantara Power UP Gresik dengan menggunakan data operasional aktual dari sistem *Central Control Room (CCR)* dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* selama periode Januari sampai Juni 2025. Transformator yang dianalisis adalah ST 1.0, ST 2.0, dan ST 3.0. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik operasional masing-masing transformator berdasarkan *LPA* dan *LLF*, menerapkan metode *SAW* dengan mengintegrasikan *LPA, LLF,* dan efisiensi energi, serta menentukan transformator *step-up* dengan kondisi operasional paling optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan evaluasi berbasis data aktual dalam mendukung pengambilan keputusan operasional pada sistem pembangkitan tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif-komparatif untuk menganalisis pemilihan transformator *step-up* berdasarkan kondisi operasional aktual. Data yang digunakan diperoleh dari sistem *Central Control Room (CCR)* dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* PT PLN Nusantara Power UP Gresik selama periode Januari sampai Juni 2025. Objek penelitian terdiri atas tiga transformator *step-up*, yaitu ST 1.0, ST 2.0, dan ST 3.0. Data yang dianalisis meliputi daya aktif, arus sekunder tiga fasa, produksi energi, dan penjualan energi listrik. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Load Profile Analysis (LPA), Load Loss Factor (LLF)*, efisiensi energi, dan metode *Simple Additive Weighting (SAW)*.

Analisis dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembebanan, rugi beban ekuivalen, efisiensi energi, serta nilai preferensi setiap transformator. *LPA* digunakan untuk menilai kestabilan pembebanan, *LLF* digunakan untuk menggambarkan rugi beban akibat variasi arus, efisiensi energi digunakan untuk mengetahui kemampuan transformator dalam menyalurkan energi, sedangkan metode *SAW* digunakan untuk menentukan transformator dengan kondisi operasional paling optimal. Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi:

2.1 *Load Profile Analysis (LPA)*

Load Profile Analysis digunakan untuk mengetahui tingkat kestabilan beban transformator selama periode pengamatan. Nilai *LPA* dihitung berdasarkan perbandingan antara daya aktif rata-rata dan daya aktif maksimum. Semakin besar nilai *LPA*, maka semakin stabil pola pembebanan transformator. Rumus LPA ditunjukkan sebagai berikut:

$$LF = \frac{P_{avg}}{P_{max}} \qquad (1)$$

Keterangan:
P_{avg}= daya rata-rata selama periode pengamatan (Watt)
P_{max}= daya maksimum selama periode pengamatan (Watt)

2.2 *Load Loss Factor (LLF)*

Load Loss Factor digunakan untuk memperkirakan rugi beban ekuivalen yang terjadi akibat perubahan arus beban. Nilai *LLF* dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah kuadrat arus beban dan kuadrat arus maksimum selama periode pengamatan. Rumus *LLF* ditunjukkan sebagai berikut:

$$LLF = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i^2}{n \cdot I_{max}^2} \qquad (2)$$

Keterangan:
I_i = arus beban pada interval ke-i (A)
I_{max} = arus maksimum selama periode pengamatan (A)
n = jumlah interval data

Nilai *LLF* yang lebih kecil menunjukkan rugi beban ekuivalen yang lebih rendah, sehingga dalam metode *SAW* parameter ini diperlakukan sebagai kriteria *cost*.

2.3 Efisiensi Energi

Efisiensi energi digunakan untuk mengetahui kemampuan transformator dalam menyalurkan energi listrik dari sisi masukan ke sisi keluaran. Nilai efisiensi energi dihitung berdasarkan perbandingan antara energi keluaran dan energi masukan. Rumus efisiensi energi ditunjukkan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \qquad (3)$$

Keterangan:
η = efisiensi transformator (%)

P_{out} = daya keluaran (W)

P_{in} = daya masukan (W)Semakin tinggi nilai efisiensi energi, maka semakin baik kemampuan transformator dalam menyalurkan energi listrik.

2.4 *Simple Additive Weighting (SAW)*

Metode *Simple Additive Weighting* digunakan untuk menggabungkan parameter *LPA*, *LLF*, dan efisiensi energi ke dalam satu nilai preferensi. Dalam penelitian ini, *LPA* dan efisiensi energi ditetapkan sebagai kriteria *benefit*, sedangkan *LLF* ditetapkan sebagai kriteria *cost*. Bobot yang digunakan adalah 0,30 untuk LPA, 0,30 untuk *LLF*, dan 0,40 untuk efisiensi energi.

Tabel 1 Kriteria dan Bobot Penilaian *SAW*

Kode	Kriteria	Jenis	Bobot
C1	*Load Profile Analysis (LPA)*	*Benefit*	0,30
C2	*Load Loss Factor (LLF)*	*Cost*	0,30
C3	Efisiensi energi	*Benefit*	0,40

a. Nilai kriteria *benefit* (*LPA* dan η) dinormalisasi dengan rumus:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \qquad (4)$$

b. Sedangkan kriteria *cost* (*LLF*) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$r_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} \qquad (5)$$

Setelah proses normalisasi, nilai preferensi setiap transformator dihitung menggunakan rumus:

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot r_{ij} \qquad (6)$$

Keterangan:
V_i = nilai total alternatif ke-i,
w_j = bobot untuk kriteria ke-j,
r_{ij} = nilai normalisasi untuk kriteria ke-j pada alternatif ke-i,
n = jumlah kriteria.

Transformator dengan nilai Vi tertinggi ditetapkan sebagai transformator *step-up* dengan kondisi operasional paling optimal. Hasil pemeringkatan *SAW* kemudian dibandingkan dengan data aktual *CCR/SCADA*, seperti produksi energi, penjualan energi, selisih energi, dan arus sekunder, untuk melihat kesesuaian hasil analisis dengan kondisi operasional di lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil analisis kondisi operasional transformator *step-up* ST 1.0, ST 2.0, dan ST 3.0 berdasarkan data aktual *Central Control Room (CCR)* dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* selama Januari sampai Juni 2025. Analisis dilakukan menggunakan parameter *Load Profile Analysis (LPA)*, *Load Loss Factor (LLF)*, efisiensi energi, dan metode *Simple Additive Weighting (SAW)*. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperjelas perbedaan karakteristik pembebanan, rugi beban ekuivalen, efisiensi energi, serta hasil pemeringkatan setiap transformator.

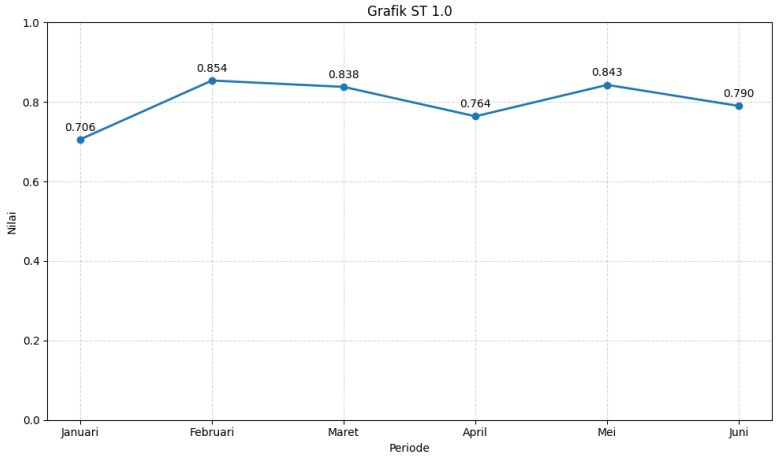
3.1 Analisis *Load Profile Analysis (LPA)*

Load Profile Analysis (LPA) digunakan untuk menggambarkan tingkat kestabilan pembebanan masing-masing transformator selama periode Januari sampai Juni 2025. Nilai LPA diperoleh dari perbandingan daya aktif rata-rata terhadap daya aktif maksimum. Nilai yang semakin mendekati satu menunjukkan bahwa pola pembebanan transformator semakin stabil.

Tabel 2 Rekapitulasi Nilai Load Profile Analysis Transformator

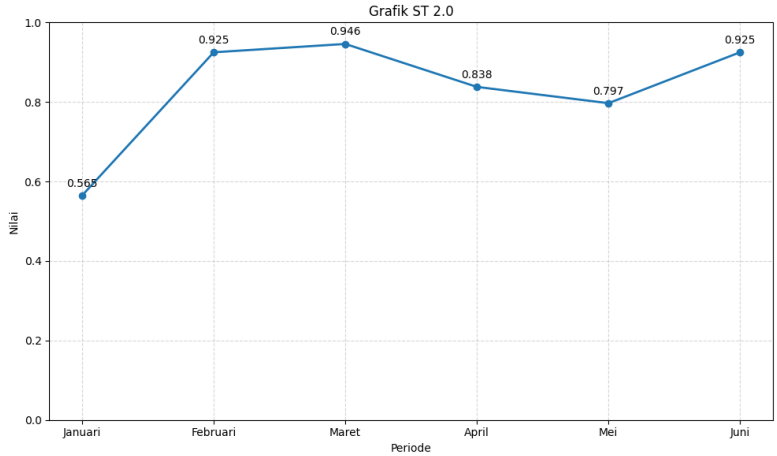
Periode	ST 1.0	ST 2.0	ST 3.0
Januari	0.706	0.565	0.572
Februari	0.854	0.925	0.656
Maret	0.838	0.946	0.614
April	0.764	0.838	0.747
Mei	0.843	0.797	0.595
Juni	0.790	0.925	0.671

Berdasarkan Tabel 1, ST 2.0 memperoleh nilai *LPA* rata-rata tertinggi sebesar 0,833, diikuti oleh ST 1.0 sebesar 0,799 dan ST 3.0 sebesar 0,643. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ST 2.0 memiliki pola pembebanan paling stabil selama periode Januari sampai Juni 2025. Untuk memperjelas perubahan nilai *LPA* pada masing-masing transformator, hasil perhitungan disajikan dalam Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



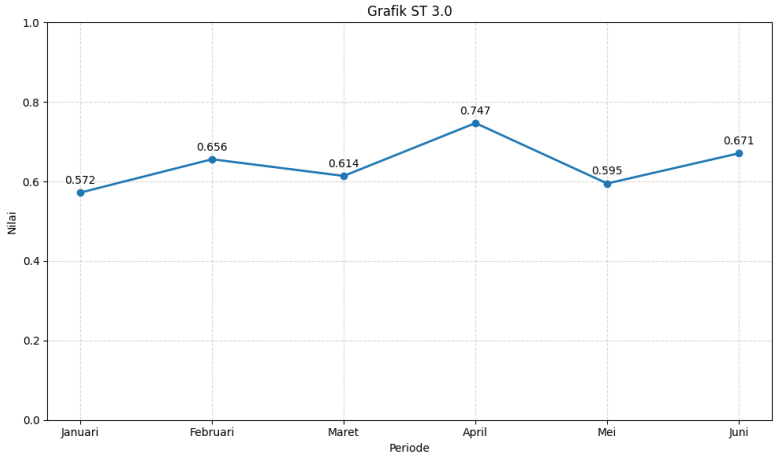
Gambar 1 Grafik *Load Profile Analysis* Transformator ST 1.0.

Berdasarkan Gambar 1, nilai *LPA* transformator ST 1.0 berada pada kisaran 0,706 sampai 0,854. Nilai terendah terjadi pada Januari, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Februari. Pola grafik menunjukkan peningkatan dari Januari ke Februari, kemudian sedikit menurun pada Maret dan April, meningkat kembali pada Mei, lalu menurun pada Juni. Secara umum, ST 1.0 menunjukkan pola pembebanan yang relatif stabil karena seluruh nilai LPA berada pada kisaran menengah hingga tinggi.



Gambar 2 Grafik *Load Profile Analysis* Transformator ST 2.0.

Berdasarkan Gambar 2, nilai *LPA* transformator ST 2.0 berada pada kisaran 0,565 sampai 0,946. Nilai terendah terjadi pada Januari, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Maret. Grafik menunjukkan peningkatan yang tajam dari Januari ke Februari dan kembali meningkat pada Maret. Nilai *LPA* kemudian menurun pada April dan Mei, kemudian meningkat kembali pada Juni. Secara keseluruhan, ST 2.0 memiliki nilai LPA yang tinggi pada sebagian besar periode pengamatan, sehingga menunjukkan pola pembebanan yang lebih stabil dibandingkan transformator lainnya.



Gambar 3 Grafik *Load Profile Analysis* Transformator ST 3.0.

Berdasarkan Gambar 3, nilai *LPA* transformator ST 3.0 berada pada kisaran 0,572 sampai 0,747. Nilai terendah terjadi pada Januari, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada April. Nilai *LPA* ST 3.0 meningkat dari Januari ke Februari, menurun pada Maret, meningkat pada April, kemudian kembali menurun pada Mei dan meningkat pada Juni. Dibandingkan ST 1.0 dan ST 2.0, ST 3.0 memiliki nilai *LPA* yang cenderung lebih rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pola pembebanan ST 3.0 lebih berfluktuasi dan kurang stabil selama periode pengamatan.

Berdasarkan ketiga grafik tersebut, ST 2.0 menunjukkan kestabilan pembebanan terbaik karena memiliki nilai LPA rata-rata tertinggi. ST 1.0 berada pada posisi kedua dengan pola pembebanan yang cukup stabil, sedangkan ST 3.0 memiliki nilai *LPA* rata-rata paling rendah. Dengan demikian, berdasarkan parameter *LPA*, ST 2.0 menunjukkan kondisi pembebanan yang paling stabil selama Januari sampai Juni 2025.

3.2 Analisis *Load Loss Factor (LLF)*

Load Loss Factor (LLF) digunakan untuk menggambarkan rugi beban ekuivalen transformator akibat variasi arus selama periode operasi. Nilai *LLF* diperoleh dari perbandingan antara jumlah kuadrat arus beban terhadap kuadrat arus maksimum pada setiap periode pengamatan. Semakin kecil nilai *LLF*, maka semakin rendah rugi beban ekuivalen yang terjadi pada transformator [6].

Tabel 3 Rekapitulasi Nilai *Load Loss Factor* Transformator

Periode	ST 1.0	ST 2.0	ST 3.0
Januari	0,510830	0,320733	0,266809
Februari	0,511500	0,243740	0,433385
Maret	0,746790	0,563279	0,345730
April	0,637183	0,584562	0,494521

Mei	0,863927	0,366634	0,269064
Juni	0,787605	0,538333	0,394100
Rata-rata	0,676	0,436	0,367

Berdasarkan Tabel 1, transformator ST 1.0 memiliki nilai *LLF* rata-rata tertinggi sebesar 0,676. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ST 1.0 memiliki kecenderungan rugi beban ekuivalen yang lebih besar dibandingkan transformator lainnya. Nilai *LLF* ST 1.0 meningkat cukup tinggi pada Mei sebesar 0,863927 dan tetap berada pada nilai tinggi pada Juni sebesar 0,787605. Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi arus pembebanan pada ST 1.0 memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap rugi beban transformator.

Transformator ST 2.0 memiliki nilai *LLF* rata-rata sebesar 0,436. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan ST 1.0, sehingga menunjukkan bahwa rugi beban ekuivalen ST 2.0 lebih terkendali. Nilai *LLF* terendah ST 2.0 terjadi pada Februari sebesar 0,243740, sedangkan nilai tertingginya terjadi pada April sebesar 0,584562. Meskipun terjadi fluktuasi selama periode pengamatan, nilai *LLF* ST 2.0 secara umum masih berada pada tingkat menengah.

Transformator ST 3.0 memperoleh nilai *LLF* rata-rata paling rendah sebesar 0,367. Nilai terendah terjadi pada Januari sebesar 0,266809, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada April sebesar 0,494521. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ST 3.0 memiliki rugi beban ekuivalen paling rendah dibandingkan ST 1.0 dan ST 2.0. Namun, nilai *LLF* yang rendah belum dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar dalam menentukan transformator dengan kondisi operasional paling optimal karena penilaian juga mempertimbangkan kestabilan pembebanan dan efisiensi energi.

Secara keseluruhan, hasil analisis *LLF* menunjukkan bahwa ST 3.0 memiliki karakteristik rugi beban ekuivalen paling rendah, diikuti oleh ST 2.0, sedangkan ST 1.0 memiliki nilai *LLF* paling tinggi. Oleh karena itu, parameter *LLF* dalam penelitian ini digunakan sebagai kriteria *cost* pada metode *SAW*, yaitu semakin kecil nilai *LLF* maka semakin baik kondisi operasional transformator dari sisi rugi beban ekuivalen.

3.3 Analisis Efisiensi Energi

Efisiensi energi digunakan untuk menunjukkan kemampuan transformator dalam menyalurkan energi listrik dari sisi masukan ke sisi keluaran. Nilai efisiensi diperoleh dari perbandingan energi listrik yang tersalurkan terhadap energi listrik yang masuk ke transformator. Semakin tinggi nilai efisiensi, maka semakin kecil energi yang hilang selama proses penyaluran.

Tabel 4 Efisiensi Energi Antar transformator

Bulan	ST 1.0 (%)	ST 2.0 (%)	ST 3.0 (%)
Januari	96,064	94,768	94,577
Februari	96,445	94,561	94,680
Maret	96,421	94,048	94,380
April	96,222	94,210	94,837
Mei	96,236	95,509	94,829
Juni	96,205	94,626	94,978
Rata-rata	96,266	94,620	94,714

Berdasarkan Tabel 3, transformator ST 1.0 memiliki nilai efisiensi energi rata-rata tertinggi sebesar 96,266%. Nilai efisiensi ST 1.0 berada pada kisaran 96,064% sampai 96,445%, dengan nilai tertinggi pada Februari dan nilai terendah pada Januari. Rentang perubahan yang kecil menunjukkan bahwa efisiensi ST 1.0 relatif stabil selama periode pengamatan.

Transformator ST 2.0 memiliki efisiensi energi rata-rata sebesar 94,620%. Nilai terendah terjadi pada Maret sebesar 94,048%, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Mei sebesar 95,509%. Dibandingkan dengan dua transformator lainnya, ST 2.0 memiliki nilai efisiensi rata-rata paling rendah. Namun, perbedaan efisiensi tersebut tetap perlu dianalisis bersama parameter *LPA* dan *LLF* karena efisiensi energi bukan satu-satunya indikator kondisi operasional transformator.

Transformator ST 3.0 memiliki nilai efisiensi energi rata-rata sebesar 94,714%, sedikit lebih tinggi dibandingkan ST 2.0. Nilai efisiensi ST 3.0 berada pada kisaran 94,380% sampai 94,978%. Nilai terendah terjadi pada Maret, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Juni. Fluktuasi efisiensi ST 3.0 relatif kecil, sehingga menunjukkan pola penyaluran energi yang cukup stabil.

Secara keseluruhan, ST 1.0 menunjukkan efisiensi energi terbaik selama periode Januari sampai Juni 2025. Akan tetapi, hasil ini belum dapat digunakan sebagai dasar tunggal untuk menentukan transformator dengan kondisi operasional paling optimal. Oleh karena itu, nilai efisiensi energi selanjutnya diintegrasikan dengan parameter *LPA* dan *LLF* menggunakan metode *Simple Additive Weighting* untuk memperoleh hasil pemeringkatan yang lebih komprehensif.

3.4 Penerapan Metode *Simple Additive Weighting (SAW)*

Metode *Simple Additive Weighting (SAW)* digunakan untuk mengintegrasikan parameter *Load Profile Analysis (LPA), Load Loss Factor (LLF),* dan efisiensi energi ke dalam satu nilai preferensi. Dalam penelitian ini, *LPA* dan efisiensi energi digunakan sebagai kriteria *benefit*, sedangkan *LLF* digunakan sebagai kriteria *cost*. Bobot yang digunakan adalah 0,30 untuk *LPA*,

0,30 untuk *LLF*, dan 0,40 untuk efisiensi energi. Nilai preferensi diperoleh melalui proses normalisasi dan pembobotan setiap kriteria, kemudian digunakan sebagai dasar pemeringkatan transformator.

Tabel 5 Nilai Preferensi *SAW* Bulanan

Bulan	ST 1.0	ST 2.0	ST 3.0	Peringkat 1
Januari	0,857	0,881	0,928	ST 3.0
Februari	0,820	0,992	0,774	ST 2.0
Maret	0,805	0,874	0,886	ST 3.0
April	0,906	0,945	0,962	ST 3.0
Mei	0,793	0,901	0,906	ST 3.0
Juni	0,806	0,913	0,913	ST 2.0

Berdasarkan Tabel 4, ST 3.0 memperoleh nilai preferensi tertinggi pada Januari, Maret, April, dan Mei. ST 2.0 memperoleh peringkat pertama pada Februari dan Juni. Pada Juni, nilai ST 2.0 dan ST 3.0 sama setelah ditampilkan hingga tiga angka di belakang koma, sedangkan peringkat ditentukan berdasarkan nilai asli sebelum pembulatan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasional setiap transformator berubah sesuai dengan karakteristik pembebanan pada masing-masing bulan. ST 3.0 beberapa kali memperoleh nilai tertinggi karena memiliki nilai *LLF* yang rendah. Namun, penentuan transformator dengan kondisi operasional paling optimal tidak hanya dilakukan berdasarkan peringkat bulanan, melainkan berdasarkan nilai preferensi rata-rata selama seluruh periode pengamatan.

Tabel 6 Rekapitulasi Nilai Preferensi Rata-Rata *SAW*

Transformator	Nilai Preferensi Rata-Rata	Peringkat
ST 1.0	0,831	3
ST 2.0	0,918	1
ST 3.0	0,895	2

Berdasarkan Tabel 5, ST 2.0 memperoleh nilai preferensi rata-rata tertinggi sebesar 0,918. ST 3.0 berada pada peringkat kedua dengan nilai 0,895, sedangkan ST 1.0 berada pada peringkat ketiga dengan nilai 0,831. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ST 2.0 memiliki kondisi operasional paling optimal berdasarkan integrasi parameter *LPA, LLF*, dan efisiensi energi.

ST 2.0 tidak memiliki efisiensi energi tertinggi karena efisiensi tertinggi dimiliki oleh ST 1.0. Selain itu, ST 2.0 juga tidak memiliki nilai *LLF* terendah karena nilai *LLF* terendah terdapat pada ST 3.0. Namun, ST 2.0 memiliki nilai *LPA* rata-rata tertinggi sebesar 0,833, yang menunjukkan kestabilan pembebanan terbaik. Nilai *LLF* ST 2.0 sebesar 0,436 juga lebih rendah

dibandingkan ST 1.0, sedangkan efisiensi energinya sebesar 94,620% masih menunjukkan kemampuan penyaluran energi yang baik. Kombinasi ketiga parameter tersebut menyebabkan ST 2.0 memperoleh nilai preferensi tertinggi melalui metode *SAW* [7], [8].

Dengan demikian, metode *SAW* dapat digunakan untuk memberikan penilaian yang lebih menyeluruh dibandingkan penggunaan satu parameter saja. Hasil pemeringkatan menunjukkan bahwa ST 2.0 merupakan transformator step-up dengan kondisi operasional paling optimal selama periode Januari sampai Juni 2025.

3.5 Validasi Hasil *SAW* Berdasarkan Data Operasional *CCR/SCADA*

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pemeringkatan metode *Simple Additive Weighting (SAW)* dengan data operasional aktual yang diperoleh dari sistem *Central Control Room (CCR)* dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Data yang digunakan dalam validasi meliputi produksi energi, penjualan energi, selisih energi, rasio penyaluran energi, dan rata-rata arus sekunder transformator.

Perbandingan langsung difokuskan pada transformator ST 2.0 dan ST 3.0 karena keduanya beroperasi pada tingkat tegangan 500 kV. Transformator ST 1.0 tidak dibandingkan secara langsung dengan kedua transformator tersebut karena beroperasi pada tingkat tegangan 150 kV, sehingga memiliki karakteristik pembebanan dan penyaluran energi yang berbeda.

Tabel 7 Perbandingan Data Operasional Aktual Transformator 500 kV

Parameter	ST 2.0	ST 3.0
Produksi energi (MWh)	185.950	232.200
Penjualan energi (MWh)	175.987	219.875
Selisih energi (MWh)	9.963	12.325
Rasio penyaluran energi (%)	94,642	94,692
Rata-rata arus sekunder total (A)	55,247	77,648

Berdasarkan Tabel 6, ST 3.0 memiliki nilai produksi dan penjualan energi yang lebih besar dibandingkan ST 2.0. Namun, ST 2.0 memiliki selisih energi yang lebih kecil, yaitu sebesar 9.963 MWh, sedangkan ST 3.0 memiliki selisih energi sebesar 12.325 MWh. Selisih energi yang lebih kecil menunjukkan bahwa kondisi penyaluran energi ST 2.0 lebih terkendali dibandingkan ST 3.0.

Selain itu, rata-rata arus sekunder total ST 2.0 sebesar 55,247 A lebih rendah dibandingkan ST 3.0 sebesar 77,648 A. Arus sekunder yang lebih rendah menunjukkan bahwa pembebanan ST 2.0 lebih terkendali. Kondisi tersebut juga dapat mengurangi potensi rugi tembaga karena rugi tembaga meningkat seiring kenaikan kuadrat arus beban.

Tabel 8 Perbandingan Hasil Data Operasional Aktual dan Preferensi *SAW*

Kelompok Tegangan	Transformator	Peringkat Data Aktual	Nilai Preferensi *SAW*	Peringkat *SAW*
150 kV	ST 1.0	1	0,831	3
500 kV	ST 2.0	1	0,918	1
500 kV	ST 3.0	2	0,895	2

ST 1.0 merupakan satu-satunya transformator pada kelompok 150 kV sehingga tidak dibandingkan langsung dengan transformator kelompok 500 kV.

Berdasarkan Tabel 7, hasil data operasional aktual dan hasil pemeringkatan *SAW* menunjukkan kesesuaian pada kelompok transformator 500 kV. ST 2.0 menempati peringkat pertama berdasarkan data aktual karena memiliki selisih energi dan rata-rata arus sekunder yang lebih rendah dibandingkan ST 3.0. Hasil tersebut selaras dengan metode *SAW*, di mana ST 2.0 memperoleh nilai preferensi rata-rata tertinggi sebesar 0,918.

ST 3.0 memiliki rasio penyaluran energi sedikit lebih tinggi dibandingkan ST 2.0. Namun, ST 3.0 juga memiliki selisih energi dan rata-rata arus sekunder yang lebih besar. Oleh karena itu, berdasarkan data operasional aktual, ST 2.0 menunjukkan kondisi operasi yang lebih terkendali pada kelompok transformator 500 kV.

Hasil validasi ini menunjukkan bahwa metode *SAW* mampu memberikan hasil pemeringkatan yang selaras dengan kondisi operasional aktual transformator. Dengan demikian, ST 2.0 dapat ditetapkan sebagai transformator *step-up* dengan kondisi operasional paling optimal selama periode Januari sampai Juni 2025

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa analisis kondisi operasional transformator *step-up* dapat dilakukan melalui integrasi parameter *Load Profile Analysis (LPA), Load Loss Factor (LLF)*, dan efisiensi energi menggunakan metode *Simple Additive Weighting (SAW)*. Hasil analisis menunjukkan bahwa ST 2.0 memiliki nilai *LPA* rata-rata tertinggi sebesar 0,833, sehingga menunjukkan kestabilan pembebanan paling baik. ST 3.0 memiliki nilai *LLF* rata-rata terendah sebesar 0,367, yang menunjukkan rugi beban ekuivalen paling rendah. Sementara itu, ST 1.0 memiliki efisiensi energi rata-rata tertinggi sebesar 96,266%, tetapi nilai *LLF* yang lebih tinggi menyebabkan kondisi operasionalnya tidak menjadi yang paling optimal secara keseluruhan.

Hasil penerapan metode *SAW* menunjukkan bahwa ST 2.0 memperoleh nilai preferensi rata-rata tertinggi sebesar 0,918, diikuti oleh ST 3.0 sebesar 0,895 dan ST 1.0 sebesar 0,831. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ST 2.0 memiliki kombinasi paling baik antara kestabilan pembebanan, rugi beban ekuivalen, dan efisiensi energi. Validasi menggunakan data operasional *CCR/SCADA* pada kelompok transformator 500 kV juga mendukung hasil tersebut, karena ST 2.0 memiliki selisih energi sebesar 9.963 MWh dan rata-rata arus sekunder total sebesar 55,247 A, lebih rendah dibandingkan ST 3.0. Dengan demikian, ST 2.0 ditetapkan sebagai transformator *step-up* dengan kondisi operasional paling optimal selama periode Januari sampai Juni 2025.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. A. Thango, J. A. Jordaan, dan A. F. Nnachi, "Selection and Rating of the Step-Up Transformer for Renewable Energy Application," SAIEE Africa Research Journal, vol. 111, no. 2, pp. 50–55, 2020. doi: 10.23919/SAIEE.2020.9099492.

[2] D. Pratama, "Load-Dependent Copper Loss Analysis in Educational-Scale Transformers: An Experimental Approach," KONSTAN: Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika, vol. 10, no. 1, pp. 33–41, 2025. doi: 10.20414/konstan.v10i01.671.

[3] V. León-Martínez, E. Peñalvo-López, C. Andrada-Monrós, dan J. Á. Sáiz-Jiménez, "Load Losses and Short-Circuit Resistances of Distribution Transformers According to IEEE Standard C57.110," Inventions, vol. 8, no. 6, Art. no. 154, 2023. doi: 10.3390/inventions8060154.

[4] N. Iqteit, A. B. Arsoy, dan B. Çakır, "Load Profile-Based Power Loss Estimation for Distribution Networks," Electrica, vol. 18, no. 2, pp. 275–283, 2018. doi: 10.26650/electrica.2018.02248.

[5] R. Beckmann, E. Röben, J. Clemens, F. Schuldt, dan K. von Maydell, "Load Profile Analysis of Medium Voltage Regulating Transformers on Battery Energy Storage Systems (BESS)," in Proceedings of the 14th International Renewable Energy Storage Conference 2020 (IRES 2020), pp. 114–118, 2021. doi: 10.2991/ahe.k.210202.018.

[6] D. H. Amin, "Utilizing Load and Loss Factors in Determination of the Technical Power Losses in Distribution System's Feeders: Case Study," Journal of Engineering, vol. 26, no. 7, pp. 83–96, 2020. doi: 10.31026/j.eng.2020.07.06.

[7] Z. Muttaqin, D. Handayani, dan G. Triyono, "Penerapan Metode Simple Additive Weighting (SAW) dalam Pemilihan Supplier Terbaik pada Industri Manufaktur," Teknika, vol. 13, no. 3, pp. 418–427, 2024. doi: 10.34148/teknika.v13i3.1024.

[8] R. Rosnelly, T. Gunawan, C. Paramitha, dan M. Sadikin, “Decision Support System Application Evaluation of Transformer Isolation Condition with Simple Additive Weighting (SAW) Method,” Jurnal Pengabdian Masyarakat Berbasis Teknologi, vol. 1, no. 1, pp. 41–48, 2020. doi: 10.32736/abdimastek.v1i1.914.