E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.warunayama.org/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 2 Tahun 2026

EVALUASI PENENTUAN KAPASITAS TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 kV SIANTAN

Syarifah Aulia Amri[1], Rudi Kurnianto[2], Managam Rajagukguk[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik,
Universitas Tanjungpura, Pontianak
[1]d1021221101@student.untan.ac.id, [2]rudi.kurnianto@ee.untan.ac.id,
[3]managam.rajagukguk@ee.untan.ac.id

Abstrak

Transformator daya merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik sesuai kebutuhan beban. Pertumbuhan beban yang terus meningkat menyebabkan evaluasi kapasitas transformator perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan transformator dalam memenuhi kebutuhan pembebanan saat ini maupun di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas Transformator Daya 1 di Gardu Induk 150 kV Siantan berdasarkan daya semu aktual, menganalisis faktor daya, persentase pembebanan, rugirugi daya, dan efisiensi, serta memproyeksikan pertumbuhan beban menggunakan metode regresi eksponensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya semu aktual tertinggi sebesar 27,56 MVA, dengan rata-rata 18,91 MVA. Faktor daya berada pada rentang 0,88-1,00, persentase pembebanan sebesar 22,23%-45,93%, total rugi daya tertinggi sebesar 71,48 kW, dan efisiensi transformator berada pada rentang 99,71%-99,75% dengan rata-rata 99,72%. Berdasarkan hasil evaluasi dan proyeksi tersebut, kapasitas Transformator Daya 1 sebesar 60 MVA masih mampu memenuhi kebutuhan beban hingga tahun 2030, sehingga belum diperlukan penambahan atau penggantian kapasitas transformator.

Kata kunci: Transformator Daya, Evaluasi Kapasitas, Daya Semu, Persentase Pembebanan, Efisiensi, Regresi Eksponensial.

Article History
Received: July 2026
Reviewed: July 2026
Published: July 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

Abstract

Power transformers are essential equipment in power systems that function to transmit electrical energy according to load demand. The continuous growth of electrical load requires transformer capacity evaluation to determine its ability to meet current and future loading conditions. This study aims to evaluate the capacity of Power Transformer 1 at the 150 kV Siantan Substation based on actual apparent power, analyze its power factor, loading percentage, power losses, and efficiency, and project future load growth using the exponential regression method. This study utilized active power and reactive power data of Power Transformer 1 during 2024. Apparent power was calculated using the simultaneous calculation of active and reactive power, which was then used as the basis for evaluating the transformer's performance parameters. The results show that the highest actual apparent power reached 27.56 MVA, with an average apparent power of 18.91 MVA. The power factor ranged from 0.88 to 1.00, the transformer loading percentage ranged from 22.23% to 45.93%, the maximum total power loss was 71.48 kW, and the transformer efficiency ranged from 99.71% to 99.75%, with an average efficiency of 99.72%. The load growth projection indicates that the apparent power will increase to 47.37 MVA by 2030, with a projected loading percentage of 78.95%. Based on the evaluation and projection results, the 60 MVA capacity of Power Transformer 1 is still sufficient to meet the projected load demand until 2030. Therefore, transformer replacement or capacity upgrading is not yet required during the projection period. However, periodic capacity evaluations are recommended to support future power system planning and maintain system reliability.

Keywords: *Power transformer, capacity evaluation, apparent power, loading percentage, efficiency, exponential regression.*

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, dalam gardu induk tersebut terdapat berbagai komponen utama seperti saluran transmisi, saluran distribusi, perlengkapan hubung bagi *(switchgear)*, peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk berfungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain, mendistribusikannya ke konsumen, sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi dengan frekuensi tetap, sebagai tempat kontrol dan pengaman operasi sistem [1].,

Transformator Daya merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dan menurunkan tegangan sesuai kebutuhan sistem. keandalan suatu sistem tenaga listrik tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan sumber energi, tetapi juga oleh pemilihan ukuran kapasitas Transformator Daya yang tepat, karena kapasitas Transformator Daya berpengaruh langsung terhadap efisiensi dan keandalan operasi jaringan [2].

Transformator Daya yang berukuran terlalu besar (*oversized*) memang mampu menanggung pertumbuhan beban di masa depan, namun menyebabkan kerugian tanpa beban (*core loss*) yang tinggi sehingga efisiensi menurun ketika beban rendah. Sebaliknya, Transformator Daya yang berukuran terlalu kecil (*undersized*) akan bekerja dalam kondisi mendekati atau melebihi kapasitasnya, sehingga kerugian tembaga (*copper loss*) meningkat, suhu operasi bertambah, dan umur Transformator Daya menjadi lebih pendek. Hal tersebut menegaskan bahwa kesalahan dalam penentuan kapasitas dari Transformator Daya dapat menimbulkan kerugian energi dan biaya operasional yang tidak sedikit [3].

Selain itu, profil beban listrik yang bervariasi sepanjang waktu baik harian, bulanan, maupun musiman menuntut adanya perhitungan yang mempertimbangkan faktor pertumbuhan beban, Faktor Daya, serta kondisi operasional di lapangan. Oleh karena itu, dengan analisis yang tepat, kapasitas Transformator Daya dapat ditentukan secara optimal sehingga mampu menyeimbangkan kebutuhan daya, meminimalkan rugi-rugi energi, dan meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Evaluasi kapasitas transformator diperlukan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan kapasitas aktual, memastikan bahwa transformator masih mampu melayani kebutuhan beban dengan aman, serta menjadi dasar dalam menentukan strategi pengembangan sistem tenaga listrik. Tanpa evaluasi yang dilakukan secara berkala, peningkatan beban yang terjadi secara bertahap dapat menyebabkan transformator beroperasi mendekati atau bahkan melebihi kapasitas nominalnya, sehingga berpotensi menurunkan keandalan sistem dan mempercepat penurunan umur peralatan. Oleh karena itu, penelitian mengenai evaluasi penentuan kapasitas Transformator Daya di gardu induk 150 kV Siantan ini menjadi sangat penting untuk memastikan apakah kapasitas Transformator Daya yang terpasang masih sesuai dengan kondisi operasi saat ini dan mampu mendukung pelayanan tenaga listrik secara andal.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan simpul penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat pengaturan aliran daya, sarana distribusi ke konsumen, serta tempat untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan distribusi. Komponen utama GI meliputi transformator daya, *switchgear* (perlengkapan hubung bagi), peralatan pengaman (relai), dan sistem kontrol untuk menjaga keandalan operasi sistem.

2.2 Transformator Daya

Transformator daya adalah peralatan elektromagnetik statis yang berfungsi mentransformasikan level tegangan (menaikkan atau menurunkan) sesuai kebutuhan sistem tenaga listrik dengan frekuensi tetap. Keandalan transformator sangat bergantung pada pemilihan kapasitas yang tepat; kapasitas yang terlalu besar (*oversized*) akan menyebabkan inefisiensi akibat *core loss* (rugi inti) yang tinggi pada beban rendah, sementara kapasitas yang terlalu kecil (*undersized*) akan memicu beban lebih (*overload*), meningkatkan *copper loss* (rugi tembaga), menaikkan suhu operasi, dan memperpendek masa pakai isolasi.

2.3 Beban Transformator Daya

Beban listrik merupakan elemen dinamis yang menentukan efisiensi serta kinerja operasional sebuah transformator daya. Karakteristik beban tidak bersifat konstan, melainkan senantiasa berfluktuasi mengikuti pola konsumsi masyarakat maupun sektor industri dalam skala harian, mingguan, bulanan, hingga musiman. Profil beban ini menjadi parameter krusial dalam menentukan apakah transformator bekerja dalam kondisi normal, beban lebih (*overload*), atau beban ringan. Dinamika perubahan beban ini memengaruhi besarnya rugi-rugi daya secara signifikan, baik rugi tembaga yang bergantung pada arus beban maupun rugi inti yang bersifat tetap. Lebih lanjut, analisis terhadap data beban puncak (*peak load*) sangat diperlukan untuk mengevaluasi keandalan sistem. Apabila beban puncak melampaui kapasitas

desain, efisiensi sistem akan menurun dan risiko kerusakan isolasi akibat panas berlebih (*thermal stress*) akan meningkat. Dengan demikian, analisis profil beban yang akurat beserta metode peramalan yang tepat menjadi syarat mutlak dalam upaya optimalisasi kapasitas transformator yang berkelanjutan.

3. METODOLOGI

3.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Transformator Daya 1 di Gardu Induk 150 kV Siantan sebagai objek penelitian. Transformator tersebut berfungsi menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV dengan kapasitas maksimum 60 MVA (ONAF) untuk menyuplai sistem distribusi tenaga listrik. Evaluasi kapasitas dilakukan menggunakan data pembebanan aktual tahun 2024 yang meliputi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Berdasarkan data tersebut dihitung daya semu (S), faktor daya, persentase pembebanan, rugi-rugi daya, dan efisiensi transformator sebagai dasar penilaian kecukupan kapasitas transformator. Analisis mengacu pada standar *IEC* 60076 dan SPLN yang berlaku. Penelitian juga menggunakan Single Line Diagram (SLD) Gardu Induk 150 kV dan 20 kV Siantan untuk menggambarkan konfigurasi sistem serta posisi Transformator Daya 1 dalam jaringan.

Tabel I. Spesifikasi Transformator Daya 1

Parameter	Nilai
Kapasitas	36 MVA(ONAN), 60 MVA (ONAF)
Tegangan	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,75%
Rugi Inti	24 kW
Rugi Tembaga	225
Standar	IEC 60076
Tahun Pembuatan	2013
Pabrikan	Unindo

Dalam penelitian ini, kapasitas nominal 60 MVA digunakan sebagai acuan perhitungan karena merupakan kapasitas operasi maksimum transformator. Selanjutnya, data beban aktif dan beban reaktif tahun 2024 digunakan sebagai dasar dalam seluruh proses analisis dan evaluasi kapasitas transformator.

3.2 Metode Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur yaitu kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku, karya ilmiah yang berhubungan dengan penulisan ini, yang nantinya dapat digunakan dalam pedoman pembuatan laporan penelitian.

3.3.2 Melakukan Perhitungan

1. Menghitung Kapasitas Daya Semu

Menghitung daya semu (S) berdasarkan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dimana:
P = Daya Aktif (MW)
Q = Daya Reaktif (MVAR)

2. Menghitung Beban Rata-Rata Daya Semu (*average load*)

Beban Rata-Rata adalah rata-rata dari seluruh beban yang terjadi selama periode pengamatan. Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan kapasitas Transformator Daya secara keseluruhan.

$$P_{rata\text{-}rata} = \frac{\sum_{i}^{n}=1\ P_i}{n}$$

Dimana:
$S_{rata\text{-}rata}$ = Rata-rata beban *(average load)* (MVA)
S_i = Beban pada bulan ke-i (MVA)
n = Jumlah data (bulan)

3. Menghitung Faktor Daya

Faktor Daya dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan antara Daya Aktif (*watt*) dengan Daya Semu (MVA).

$$\text{Cos } \varphi = \frac{p\ (MW)}{s\ (MVA)}$$

Dimana:
Cos φ = Faktor Daya
P = Daya Aktif (MW)
S = Daya Semu (MVA)

4. Menghitung Persentase Pembebanan

Persentase pembebanan (*loading factor*) adalah rasio antara daya nyata saat beban tertinggi daya semu terhadap kapasitas nominal Transformator Daya.

$$Presentase\ Pembebanan = \frac{S_{puncak}}{S_{nominal}} \times 100\ \%$$

Dimana:
S_{puncak} = Daya Semu Puncak (MVA)
$S_{nominal}$ = Kapasitas Daya Maksimal (MVA)

5. Menghitung Rugi-Rugi Daya

Ketika kondisi berbeban maka rugi daya yang terjadi disebabkan oleh rugi inti dan rugi tembaga.

$$P_{losses} = P_{Copper} + P_{Core}$$

Dimana:
P_{losses} = Total rugi-rugi Transformator Daya (W)
P_{Copper} = Rugi-rugi tembaga Transformator Daya (W)
P_{Core} = Rugi-rugi inti besi Transformator Daya (W)

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung rugi tembaga pada Transformator Daya:

$$Pcu = 3 \times I^2 \times R$$

Dimana:
I = Arus Beban Aktual (Ampere)
R = Hambatan atau Resistansi Lilitan (Ω)

Atau dapat disubstitusikan menjadi rumus praktis:

$$P_{Copper} = \left(\frac{S_{aktual}}{S_{nominal}}\right)^2 \times P_{Copper_Nominal}$$

S_{aktual} = Daya Semu Puncak Beban Aktual Bulanan (MVA)
$S_{nominal}$ = Kapasitas Daya Nominal Spesifikasi Pabrik (MVA)
$P_{Copper_Nominal}$ = Nilai Rugi Tembaga Nominal Dari Spesifikasi Pabrik (kW)

Berikut adalah Persamaan yang digunakan untuk menghitung rugi inti besi pada Transformator Daya:

$$P_i = P_h + P_e$$

Dimana:
P_i = Rugi inti (watt)
P_h = Rugi *hysteresis* (watt)
P_e = Rugi arus *eddy* (watt)

Rugi *hysteresis* disebabkan oleh fluks bolak-balik dalam peningkatan efisiensi dari transformasi gelombang elektromagnetik menjadi arus [18]. Berikut adalah Persamaan dari rugi *hysteresis* Transformator Daya:

$$P_h = K_h \times f \times B^2$$

Dimana:
K_h = Konstanta *hysteresis*
f = Frekuensi (Hz)
B = Kerapatan fluks maksimum (Tesla)
Berikut adalah Persamaan dari rugi arus *eddy* transformator daya 1:

$$P_e = K_e \times f \times B^2$$

Dimana:
K_e = Konstanta arus *eddy*
f = Frekuensi (Hz)
B = Kerapatan fluks maksimum (Tesla)

6. Menghitung Efisiensi Transformator Daya 1

Efisiensi Transformator Daya 1 merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan Transformator Daya 1 dalam menyalurkan daya listrik

$$\eta = \frac{po}{po + p_{loss}} \times 100\%$$

Dimana:
Po = Daya keluaran (kW)
P_{loss} =Total rugi-rugi transformator daya 1 (kW)

7. Perhitungan Pertumbuhan Beban dengan Metode Regresi Eksponensial

Regresi eksponensial adalah regresi non-linier yang variabel terikatnya berdistribusi eksponensial, lalu dalam scatter plot terbentuk garis seperti eksponesial dan merupakan pengembangan dari regresi linier dengan memanfaatkan fungsi logaritmik.

$$Y = Ce^{DX}$$

Dimana:
Y = Nilai beban yang diprediksi (MVA)
X = Urutan waktu (tahun)
C = Konstanta
D = Koefisien pertumbuhan
e = Bilangan eksponensial (2,71828)

Karena persamaan eksponensial tidak dapat langsung dihitung menggunakan metode kuadrat terkecil, maka dilakukan transformasi logaritma natural.

$$Y = Ce^{DX}$$

Dimana:
Y = Daya semu maksimum (MVA)
X = Urutan tahun
C = Konstanta
D = Laju pertumbuhan
ln *Y* = ln *C* + *DX*
Dengan:
Y′ = ln *Y*
ɑ = ln *C*
b = *D*
nilai konstanta dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil

$$ɑ = \frac{(\sum \ln Y)(\sum X^2)-(\sum X)(\sum X \ln Y)}{n\sum X^2-(\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum X \ln Y)-(\sum X)(\sum \ln Y)}{n\sum X^2-(\sum X)^2}$$

Dimana:
X = Urutan data (1,2,3,..)
Y = Beban historis
lnY = Logaritma natural dari beban
X lnY = Hasil perkalian X dengan lnY
n = Jumlah data
Setelah itu lakukan perhitungan persentase pembebanan hasil prediksi untuk tiap tahunnya:

$$Preesentase\ pembebanan = \frac{P(t)\ Hasil\ Prediksi}{Kapasitas\ nominal} \times 100\%$$

3.3 Variabel atau Data Penelitian

Setelah melakukan penelitian ini maka akan diperoleh data sebagai berikut:
1. Data kapasitas Daya Semu
2. Data Beban Rata-Rata Daya SemuTransformator Daya 1
3. Data Faktor Daya dan persentase pembebanan
4. Data Rugi-Rugi Daya dan efisiensi untuk menilai kinerja Transformator Daya 1.
5. Data pertumbuhan beban untuk memprediksi kebutuhan beban dimasa depan.

3.4 Analisis Hasil

Analisis hasil adalah analisis dari perhitungan yang dilakukan, adapun analisisnya yaitu meliputi analisis

1. Analisis kapasitas Daya Semu
2. Analisis Beban Rata-Rata Daya SemuTransformator Daya 1
3. Analisis Faktor Daya dan persentase pembebanan
4. Analisis Rugi-Rugi Daya dan efisiensi untuk menilai kinerja Transformator Daya 1.
5. Analisis pertumbuhan beban untuk memprediksi kebutuhan beban dimasa depan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Evaluasi Pembebanan Transformator Daya 1

4.1.1 Beban Daya Aktif Dan Daya Reaktif

Berikut adalah tabel data beban Daya Aktif dan Daya reaktif bulanan pada Transformator Daya 1 di gardu induk 150 kV Siantan Tahun 2024 disajikan sebagai langkah awal dalam analisis pembebanan Transformator Daya 1.

Tabel II. Data Beban Daya Aktif (P) Dan Reaktif (Q) Bulanan

Bulan	Beban Daya Aktif (MW)	Beban Daya Reaktif (MVAR)	Jam
Januari	19,16	-10,38	10:00
Februari	12,81	-5,5	22.00
Maret	18,45	-5,52	15:30
April	15,53	-4,33	22:30
Mei	15,6	3,81	20:30
Juni	17,03	-2,95	19:00
Juli	15,44	-1,69	22:00
Agustus	22,21	-1,7	15:30
September	15,13	-1,22	13:30
Oktober	15,23	-0,82	11.30
November	27,55	-0,78	13:30
Desember	27,17	1,6	20:30

4.1.2 Menghitung Kapasitas Daya Semu

Adapun data yang digunakan sebagai acuanya yaitu pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dengan menggunakan persamaan (1), setelah dilakukan perhitungan kapasitas Daya Semu pada bulan januari maka didapatkanlah hasil yaitu:

Daya Aktif (*P*) =19,16 MW
Daya Reaktif (*Q*) = -10,38 MVAR

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
$S = \sqrt{(19{,}16\ MW)^2 + (-10{,}38\ MVAR)^2}$
S = 21,79 MVA
Daya Reaktif (*Q*) = -10,38 MVAR
$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
$S = \sqrt{(19{,}16\ MW)^2 + (-10{,}38\ MVAR)^2}$
S = 21,79 MVA

4.1.3 Perhitungan Beban Rata-Rata Daya Semu

Berdasarkan data hasil perhitungan Beban Daya Semu (S) pada Tabel 4.3 selama 12 bulan, dengan menggunakan persamaan (2) maka didapatkan Beban Rata-Rata di Tahun 2024 pada Daya Semu (S) yaitu:

Untuk *n* = 12 bulan, maka Beban Rata-Rata Daya Semu adalah:

$$S_{rata\text{-}rata} = \frac{\sum_{i}^{n=1} S_i}{n}$$

$\sum S_i$ = 21,79+13,34+19,26+16,12+16,06+17,28+15,53+22,27+15,18+15,25+27,56+ 27,22 (MVA)
= 226,86

$$S_{rata\text{-}rata} = \frac{226,8}{12} = 18,905 \text{ MVA}$$

4.1.4 Perhitungan Faktor Daya

Pada perhitungan Faktor Daya (*cosφ*) data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.3 dan menggunakan persamaan (3) setelah dilakukan perhitungan Faktor Daya pada bulan Januari maka didapatkanlah hasil yaitu:

Daya Aktif *(P)* = 19,16 MW
Daya Semu *(S)* = 21,79 MVA

$$\text{Cos } \varphi = \frac{p\ (MW)}{s\ (MVA)}$$

$$\text{Cos } \varphi = \frac{19,16\ MW}{21,7\ 9\ MVA} = 0,88$$

Tabel V. Hasil Perhitungan Faktor Daya Transformator Daya 1 Tahun 2024

Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Semu (MVA)	Faktor Daya (*Cosφ*)	Sifat Beban
Januari	19,16	-10,38	21,79	0,88	Leading (Kapasitif)
Februari	12,15	-5,5	13,34	0,91	Leading (Kapasitif)
Maret	18,45	-5,52	19,26	0,96	Leading (Kapasitif)
April	15,53	-4,33	16,12	0,96	Leading (Kapasitif)
Mei	15,6	3,81	16,06	0,97	Lagging (Induktif)
Juni	17,03	-2,95	17,28	0,99	Leading (Kapasitif)
Juli	15,44	-1,69	15,53	0,99	Leading (Kapasitif)
Agustus	22,21	-1,7	22,27	1,00	Leading (Kapasitif)
September	15,13	-1,22	15,18	1,00	Leading (Kapasitif)
Oktober	15,23	-0,82	15,25	1,00	Leading (Kapasitif)
November	27,55	-0,78	27,56	1,00	Unity (Ideal)
Desember	27,17	1,6	27,22	1,00	Unity (Ideal)

4.1.5 Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator Daya 1

Pada perhitungan persentase pembebanan Transformator Daya 1 ini, data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.3 dengan menggunakan persamaan (5) dengan kapasitas maksimal 60 MVA setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada bulan Januari maka didapatkan hasil yaitu:

$$Persentase\ Pembebanan = \frac{S_{puncak}}{S_{nominal}} \times 100\ \%$$

$$Persentase\ Pembebanan = \frac{21,79\ MVA}{60\ MVA} \times 100\ \%$$

$$= 0.36316 \times 100\% \approx 36,32\ \%$$

Tabel VI. Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator Daya 1 Tahun 2024

Bulan	Daya Semu (MVA)	Persentase Pembebanan 60 MVA (%)
Januari	21,79	36,32%
Februari	13,34	22,23%
Maret	19,26	32,10%
April	16,12	26,87%
Mei	16,06	26,77%
Juni	17,28	28,80%
Juli	15,53	25,88%
Agustus	22,27	37,12%
September	15,18	25,30%
Oktober	15,25	25,42%
November	27,56	45,93%
Desember	27,22	45,36%

4.1.6 Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Pada perhitungan Rugi- Rugi Daya ini, data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.3 dengan menggunakan persamaan (6) dan (8) setelah dilakukan perhitungan Rugi-Rugi Daya pada bulan Januari maka didapatkan hasil yaitu:

S_{aktual} = 21,79 MVA (Daya Semu Maksimum Januari)
$S_{nominal}$ = 60 MVA
$P_{Copper\ Nominal}$ = 225 kW
P_{Core} = 24 kW (konstan dari spesifikasi pabrik)

Perhitungan rugi tembaga (P_{Copper}):

$$P_{Copper} = \left(\frac{S_{aktual}}{S_{nominal}}\right)^2 \times P_{Copper_Nominal}$$

$$P_{Copper} = \left(\frac{21,79}{60}\right)^2 \times 225\ kW$$

$$P_{Copper} = (0,36316)^2 \times 225\ kW$$

$$P_{Copper} = 29,67kW$$

Perhitungan Rugi-Rugi Daya (P_{losses}):

$P_{losses} = P_{Copper} + P_{Core}$
P_{losses} = 29,67 kW+ 24 kW = 53,67 Kw

Tabel VII. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Transformator Daya 1 Tahun 2024

Bulan	Daya Semu (MVA)	Rugi Inti Besi (kW)	Rugi Tembaga (kW)	Total Rugi Daya (kW)
Januari	21,79	24	29,67	53,67
Februari	13,34	24	11,13	35,13
Maret	19,26	24	23,2	47,2
April	16,12	24	16,24	40,24
Mei	16,06	24	16,12	40,12
Juni	17,28	24	18,67	42,67
Juli	15,53	24	15,08	39,08
Agustus	22,27	24	31	55
September	15,18	24	14,41	38,41
Oktober	15,25	24	14,54	38,54
November	27,56	24	47,48	71,48
Desember	27,22	24	46,31	70,31

4.1.7 Perhitungan Efisiensi Transformator Daya 1

Pada perhitungan Efisiensi Transformator Daya 1 ini, data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.1 dan 4.6 dengan menggunakan persamaan (12) setelah dilakukan perhitungan efisiensi Transformator Daya 1 pada bulan Januari maka didapatkan hasil yaitu:

Po = 19,160 kW
P_{loss} = 53,67 kW

$$\eta = \frac{po}{po+p_{loss}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{19.160\ \text{kW}}{19.160\ kW+5\ ,67\ kW} \times 100\% = 99{,}72\%$$

Tabel VIII. Hasil Perhitungan Efisiensi Transformator Daya 1 Tahun 2024

Bulan	Daya Keluaran (MW)	Daya Keluaran (kW)	Total Rugi Daya (kW)	Efisiensi Transformator (%)
Januari	19,16	19.160,00	53,67	99,72%
Februari	12,15	12.150,00	35,12	99,71%
Maret	18,45	18.450,00	47,18	99,74%
April	15,53	15.530,00	40,24	99,74%
Mei	15,60	15.600,00	40,12	99,74%
Juni	17,03	17.030,00	42,66	99,75%
Juli	15,44	15.440,00	39,07	99,75%
Agustus	22,21	22.210,00	55,00	99,75%
September	15,13	15.130,00	38,40	99,75%
Oktober	15,23	15.230,00	38,53	99,75%
November	27,56	27.560,00	71,43	99,74%
Desember	27,22	27.220,00	70,13	99,74%
Total	**220,71**	**220.710,00**	**571,55**	
Rata-Rata	**18,39**	**18.392,50**	**47,63**	99,72%

4.2 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Beban

Tabel IX. Data Beban Daya Aktif Dan Daya Reaktif Tahun 2022-2025

Tahun	Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Jam
2022	Januari	19,28	-9,23	19:00
	Februari	17,95	-8,76	19:00
	Maret	19,07	-8,35	19:00
	April	19,41	-7,98	20:30
	Mei	19,4	-6,7	19:30
	Juni	18,53	-1,27	19:00
	Juli	19,63	0,23	19:30
	Agustus	20,47	-4,9	19:30
	September	17,64	-2,86	19:30
	Oktober	17,48	-4,11	19:00
	November	18,58	-3,78	20:00
	Desember	18,61	-4,76	14:00
2023	Januari	18,19	-6,41	18:30
	Februari	18,74	-6,6	19:30
	Maret	18,81	-6,67	20:30
	April	20,67	-9,27	19:30
	Mei	19,89	-6,44	21:30
	Juni	21,05	-8,11	14:30
	Juli	19,11	-6,4	19:30
	Agustus	21,92	-10,48	19:30
	September	21,7	-5,6	20:30
	Oktober	18,84	-6,48	19:00
	November	19,43	-7,38	13:30
	Desember	18,6	-8,63	19:30
2024	Januari	19,16	-10,38	10:00
	Februari	12,15	-5,5	22:00
	Maret	18,45	-5,52	15:30
	April	15,53	-4,33	22:30
	Mei	15,6	3,81	20:30
	Juni	17,03	-2,95	19:00
	Juli	15,44	-1,69	22:00
	Agustus	22,21	-1,7	15:30
	September	15,13	-1,22	13:30
	Oktober	15,23	-0,82	11:30
	November	27,55	-0,78	13:30
	Desember	27,17	1,6	20:30
2025	Januari	28,29	0,28	21:30
	Februari	13,11	-0,88	14:00
	Maret	12,68	-1,7	21:00
	April	13,83	-0,8	23:00
	Mei	13,56	-0,68	14:00
	Juni	21,37	-1,24	11:30
	Juli	13,71	-3,44	21:30
	Agustus	22,61	-5,7	12:30
	September	13,44	-6,4	14:30
	Oktober	18,73	-4,5	23:30
	November	11,2	-1,8	23:30
	Desember	19,76	-2,3	11:30

Pada perhitungan Daya Semu ini, data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.8 dengan menggunakan persamaan (1) setelah dilakukan perhitungan pada bulan januari Tahun 2022 maka perhitungan untuk Daya Semu yang didapatkan pada bulan januari Tahun 2022 yaitu:

Daya Aktif (*P*) = 19,28 MW
Daya Reaktif (*Q*) = -9,23 MVAR
S = $\sqrt{P^2 + Q^2}$
S = $\sqrt{(19{,}28\ MW)^2 + (-9{,}23\ MVAR)^2}$

Tabel X. Hasil Perhitungan Daya Semu Tahun 2022-2025

Tahun	Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Semu (MVA)
2022	Januari	19,28	-9,23	21,37
	Februari	17,95	-8,76	19,97
	Maret	19,07	-8,35	20,82
	April	19,41	-7,98	20,99
	Mei	19,4	-6,7	20,52
	Juni	18,53	-1,27	18,57
	Juli	19,63	0,23	19,63
	Agustus	20,47	-4,9	21,05
	September	17,64	-2,86	17,87
	Oktober	17,48	-4,11	12,96
	November	18,58	-3,78	18,96
	Desember	18,61	-4,76	19,21
2023	Januari	18,19	-6,41	19,29
	Februari	18,74	-6,6	19,87
	Maret	18,81	-6,67	19,96
	April	20,67	-9,27	22,65
	Mei	19,89	-6,44	10,91
	Juni	21,05	-8,11	22,56
	Juli	19,11	-6,4	20,15
	Agustus	21,92	-10,48	24,30
	September	21,7	-5,6	22,41
	Oktober	18,84	-6,48	19,92
	November	19,43	-7,38	20,78
	Desember	18,6	-8,63	20,50
2024	Januari	19,16	-10,38	21,79
	Februari	12,15	-5,5	13,34
	Maret	16,45	-5,52	19,26
	April	15,53	-4,33	16,12
	Mei	15,6	3,81	16,06
	Juni	17,03	-2,95	17,28
	Juli	15,44	-1,69	15,53
	Agustus	22,21	-1,7	22,27
	September	15,13	-1,22	15,18
	Oktober	15,23	-0,82	15,25
	November	27,55	-0,78	27,56
	Desember	27,17	1,6	27,22
2025	Januari	28,29	0,28	28,29
	Februari	13,11	-0,88	13,14
	Maret	12,68	-1,7	12,79
	April	13,83	-0,8	13,85
	Mei	13,56	-0,68	13,58
	Juni	21,37	-1,24	21,41
	Juli	13,71	-3,44	14,13
	Agustus	22,61	-5,7	23,32
	September	13,44	-6,4	14,89
	Oktober	18,73	-4,5	19,26
	November	11,2	-1,8	11,34
	Desember	19,76	-2,3	19,89

Setelah dilakukannya perhitungan Daya Semu dari Tahun 2022 hingga Tahun 2025 maka didapatkan daya semu maksimum *(S_{max})*:

Tabel XI. Daya Semu Maksimum Tahun 2022-2025

Tahun	X	Y (MVA)
2022	1	21,37
2023	2	24,30
2024	3	27,56
2025	4	28,29

Setelah Daya Semu maksimum Tahun 2022-2025 didapatkan maka selanjutnya yang akan kita lakukan yaitu mengubah data daya semu diatas menjadi logaritma natural. Dalam regresi eksponensial, logaritma natural adalah logaritma berbasis bilangan Euler (*e*=2,71828), yang ditulis sebagai:
ln(*Y*)

Y = 21,37 MVA
ln (21,37) = 3,06199

Dengan cara yang sama dengan proses perhitungan yang telah dilakukan di atas, maka hasil perhitungan logaritma natural Tahun 2022-2025 dapat dirangkum ke dalam tabel berikut:

Tabel XII. Hasil Perhitungan Logaritma Natural Tahun 2022-2025

X	Y (MVA)	X^2	lnY	X ln Y
1	21,37	1	3,06199	3,06199
2	24,30	4	3,19048	6,38095
3	27,56	9	3,31637	9,9491
4	28,29	16	3,34251	13,37003
Σ	101,52	30	12,91135	32,76207

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan logaritma natural tahun 2022-2025 maka diperoleh:

n = 4
ΣX = 10
ΣX^2 = 30
ΣlnY = 12,91135
$\Sigma X\ lnY$ = 32,76207

Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan konstanta data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.10 dengan menggunakan persamaan (16) dan (17) setelah perhitungan maka didapatkan hasil konstanta α dan b yaitu:

1. Konstanta α:

$$\alpha = \frac{(\sum \ln Y)(\sum X^2)-(\sum X)(\sum X \ln Y)}{n\sum X^2-(\sum X)^2}$$

$$\alpha = \frac{(12{,}91135)(30)-(10)(32{,}76207)}{(4)(30)-10^2}$$

$$= \frac{387{,}3405-327{,}6207}{120-100}$$

$$= \frac{59{,}7198}{20}$$

α = 2,98599

2. Konstanta b:

$$b = \frac{n(\sum X \ln Y)-(\sum X)(\sum \ln Y)}{n\sum X^2-(\sum X)^2}$$

$$b = \frac{4(32{,}76207)-10(12{,}91135)}{120-100}$$

$$= \frac{131{,}04828-129{,}1135}{20}$$

$$= \frac{1{,}93478}{20}$$

b = 0,096739

Setelah didapatkan konstanta α dan b, berikutnya yaitu menentukan konstanta *C* dan *D* Karena $\alpha = \ln C$, maka: $C = e^{\alpha}$

$C = e^{2{,}98599}$
$C = 19{,}8061$
Sedangkan

$$D = b = 0{,}096739$$

Sehingga di peroleh persamaan regresi eksponensial yaitu:

$$Y = 19{,}8061^{0{,}096739X}$$

Setelah didapatkan hasil persamaan regresi eksponensial diatas maka Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan peralaman beban tahun 2026-2030, dengan menggunakan persamaan (14) setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil untuk tahun 2026 yaitu:

2022→ X= 1
2023→ X= 2
2024→ X= 3
2025→ X= 4
2026→ X= 5

$Y = Ce^{DX}$

$Y_{2026} = 19{,}8061e^{0{,}096739(5)}$

$= 19{,}80575e^{0{,}483695}$

$= 19{,}80575(1{,}62206)$

$Y_{2026} = 32{,}13$ MVA

Dengan cara yang sama dengan proses perhitungan yang telah dilakukan di atas, maka hasil perhitungan peramalan beban Tahun 2026-2030 dapat dirangkum ke dalam tabel berikut:

Tabel XIII. Hasil Perhitungan Peramalan Beban Tahun 2026-2030

Tahun Proyeksi	X	Hasil Daya Semu (MVA)
2026	5	32,13
2027	6	35,32
2028	7	38,95
2029	8	42,95
2030	9	47,37

Tabel XIV. Data Aktual Dan Hasil Proyeksi

Tahun Proyeksi	X	Daya Semu (MVA)
2022	1	21,37 *(Aktual)*
2023	2	24,30 *(Aktual)*
2024	3	27,56 *(Aktual)*
2025	4	28,29 *(Aktual)*
2026	5	32,13 *(Hasil Regresi)*
2027	6	35,32 *(Hasil Regresi)*
2028	7	38,95*(Hasil Regresi)*
2029	8	42,95 *(Hasil Regresi)*
2030	9	47,37 *(Hasil Regresi)*

Pada perhitungan persentase pembebanan ini, data yang digunakan sebagai acuan yaitu data pada Tabel 4.12 dengan menggunakan persamaan (18) setelah perhitungan dilakukan pada Tahun 2022 maka didapatkan hasil proyeksi pada Tahun 2026 yaitu:

$$Persentase\ pembebanan = \frac{P(t)\ Hasil\ Prediksi}{Kapasitas\ nominal} \times 100\%$$

$$Persentase\ pembebanan = \frac{21{,}37MVA}{60\ MVA} \times 100\% = 35{,}62\%$$

Tabel XV. Persentase Pembebanan Tahun 2022-2030

Tahun Proyeksi	Daya Semu (MVA)	Persentase Pembebanan 60 MVA (%)
2022	21,37	35,62
2023	24,30	40,50
2024	27,56	45,93
2025	28,29	47,15
2026	32,13	53,55
2027	35,32	58,87
2028	38,95	64,92
2029	42,95	71,58
2030	47,37	78,95

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, analisis, serta pembahasan yang telah dilakukan mengenai evaluasi penentuan kapasitas Transformator Daya 1 di gardu induk 150 kV Siantan Tahun 2024 serta analisis proyeksi pertumbuhan beban untuk periode Tahun 2026 hingga 2030 menggunakan metode eksponensial kontinu, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis terhadap data pembebanan aktual Transformator Daya 1 di Gardu Induk 150 kV Siantan selama tahun 2024, diperoleh bahwa nilai daya semu mengalami fluktuasi mengikuti perubahan daya aktif, sedangkan kontribusi daya reaktif relatif kecil. Nilai daya semu tertinggi sebesar 27,56 MVA terjadi pada bulan November, sedangkan nilai terendah sebesar 13,34 MVA terjadi pada bulan Februari. Rata-rata daya semu selama tahun 2024 sebesar 18,905 MVA, yang menunjukkan bahwa transformator beroperasi pada tingkat pembebanan yang relatif stabil selama periode pengamatan.
2. Hasil analisis faktor daya menunjukkan nilai 0,88–1,00, dengan mayoritas berada di atas 0,95 sehingga memenuhi ketentuan SPLN D3.018-1:2012 yang menetapkan faktor daya minimum 0,85. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kualitas penyaluran daya yang baik, kebutuhan daya reaktif relatif terkendali, serta transformator mampu menyalurkan energi listrik secara efisien.
3. Persentase pembebanan Transformator Daya 1 berada pada rentang 22,23%–45,93% dari kapasitas nominal 60 MVA. Nilai pembebanan maksimum tersebut masih jauh di bawah batas pembebanan optimal 80% sesuai SPLN No. 17 Tahun 1979, sehingga transformator masih memiliki cadangan kapasitas yang cukup besar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa transformator belum mengalami pembebanan yang tinggi dan masih mampu mengakomodasi peningkatan kebutuhan beban tanpa mengalami kondisi overload.
4. Analisis rugi-rugi daya menunjukkan bahwa rugi inti besi bernilai konstan sebesar 24 kW, sedangkan rugi tembaga berubah mengikuti tingkat pembebanan transformator. Total rugi daya tertinggi sebesar 71,48 kW terjadi pada bulan November, sedangkan yang terendah sebesar 35,13 kW terjadi pada bulan Februari. Meskipun mengalami fluktuasi, besarnya rugi-rugi daya masih tergolong rendah karena tingkat pembebanan transformator masih berada jauh di bawah kapasitas nominal.
5. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi, Transformator Daya 1 memiliki efisiensi sebesar 99,71%–99,75% dengan rata-rata 99,72%. Nilai tersebut berada di atas acuan efisiensi minimum 98,00%–99,00% berdasarkan SPLN 50:1997 dan IEC 60076-1, sehingga menunjukkan bahwa transformator masih bekerja dengan sangat efisien. Tingginya efisiensi tersebut menunjukkan bahwa rugi-rugi daya yang terjadi relatif kecil dibandingkan daya yang berhasil disalurkan ke sistem.
6. Hasil proyeksi menggunakan metode regresi eksponensial menunjukkan bahwa daya semu Transformator Daya 1 diperkirakan meningkat secara bertahap dari 32,13 MVA pada tahun 2026 menjadi 47,37 MVA pada tahun 2030. Persentase pembebanan juga diproyeksikan meningkat hingga 78,95% pada tahun 2030. Meskipun terjadi peningkatan beban, nilai tersebut masih berada di bawah kapasitas nominal transformator sebesar 60 MVA dan masih memenuhi batas pembebanan optimal 80%, sehingga Transformator Daya 1 diperkirakan masih mampu melayani pertumbuhan beban hingga tahun 2030.
7. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kapasitas transformator tidak hanya mencukupi untuk kondisi pembebanan saat ini, tetapi juga masih mampu mengakomodasi pertumbuhan beban berdasarkan hasil proyeksi hingga tahun 2030. Oleh karena itu, evaluasi kapasitas transformator menjadi penting sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan pengembangan sistem tenaga listrik secara tepat waktu sehingga investasi yang dilakukan tetap efisien tanpa mengurangi keandalan sistem. Hasil evaluasi ini juga dapat dijadikan sebagai dasar dalam perencanaan sistem tenaga listrik, sehingga keputusan mengenai redistribusi beban, uprating

kapasitas, maupun penambahan transformator dapat dilakukan secara tepat waktu untuk menjaga keandalan, kontinuitas, dan kualitas penyaluran tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. S. Anindyantoro, Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator daya Tenaga Di Gardu Induk Wonogiri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
[2] Mgunda, M. (2017). *Optimization of Power Transformer Design: Losses, Voltage Regulation and Tests*. Journal of Power and Energy Engineering.
[3] Monolithic Power Systems. (2025). *Transformer Efficiency and Losses*.
[4] Eko Kurniawan, Purwoharjono, & Zainal Abidin. (2022). Peramalan Beban pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) UP3B Kalimantan Barat. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
[5] A. Tomi, Muliadi, and Syukri, "Analisis efisiensi transformator daya di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ulee Kareng," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, Jun. 2023.
[6] Pabla, A. S. (2012). *Electric Power Distribution*.
[7] Irawan, B., & Sunanda, W. (2020). Unjuk Kerja Transformator Daya pada Gardu Induk Sistem Kelistrikan Pulau Bangka.
[8] Fitriyanto, A., & Widodo, A. (2020). Analisis Beban pada Transformator Daya untuk Meningkatkan Efisiensi Operasi
[9] Suharto, T. (2019). Teori Dasar Transformator daya dan Aplikasinya dalam Sistem Tenaga.
[10] Bansal, R. (2019). *Power System Analysis and Design*.
[11] IEEE Std 1100-2005. (2005). *IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment*. IEEE.
[12] El-Hawary, M. E. (2008). *Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications*. Wiley-IEEE Press.
[13] International Electrotechnical Commission (IEC). (2011). *IEC 60076-1: Power Transformers – Part 1: General*. IEC.
[14] H. Elnizar, H. Gusmedi, dan O. Zebua, "Analisis Rugi-Rugi *(Losses*) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan," *Electrician*, vol. 15, no. 2, hal. 116–126, 2021.
[15] PT. PLN (Persero), "SPLN 50:1997 Spesifikasi Transformator Distribusi." Jakarta, hal. 1–20, 1997.
[16] E. Prabowo, "Studi Analisis Perhitungan Rugi Hysterisis Dan Arus Eddy Pada Trafo Step Up Fase 220V/5KV," Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018.
[17] Syukri, T. M. Asyadi, Muliadi, dan F. Maesnadi, "Analisa Pembebanan Transformator daya Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 24," Jambura J. Electr. Electron. Eng., vol. 4, no. 2, hal. 202–206, 2022.
[18] M. D. Lubis, "Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Total Akibat Pembebanan Terhadap Temperature dan Efisiensi Transformator daya Distribusi (di PT. Morawa Elektrik Trasbuana, Tanjung Morwa)," Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2019.
[19] H. B. Utomo dan E. B. Putri, "Perhitungan Rugi-Rugi pada Transformator daya Akibat Harmonisa dan Perancangan Filter Pasif Menggunakan MATLAB," Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 2, no. 1, hal. 1–7, 2021.
[20] Y. Esye dan S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," J. Sains Teknol., vol. 11, no. 1, hal. 103–113, 2021.
[21] PLN (2017). *Pedoman Perencanaan dan Evaluasi Transformator Daya di Sistem Tenaga Listrik*. Direktorat Transmisi dan Distribusi PT PLN (Persero)
[22] Stevenson, W. D. (1994). *Elements of Power System Analysis*. McGraw-Hill

[23] *International Electrotechnical Commission (IEC)*. (2018). *IEC 60076-7: Power Transformers – Part 7: Loading Guide for Mineral-Oil-Immersed Power Transformers. IEC*.
[24] PT. PLN (Persero), "SPLN 17:1979 Pedoman Pembebanan Transformator Daya." Jakarta, hal. 1–35, 1979.
[25] PT. PLN (Persero), "SPLN 50:1982 Pedoman Pemilihan Transformator Daya." Jakarta, hal. 1–25, 1982.
[26] PT. PLN (Persero), "SPLN 56:1984 Standar Perencanaan Operasi Sistem Tenaga Listrik." Jakarta, hal. 1–40, 1984.
[27] PT. PLN (Persero), "SPLN 70:1986 Standar Faktor Daya dan Kompensasi Daya Reaktif pada Jaringan Distribusi." Jakarta, hal. 1–15, 1986.
[28] PT. PLN (Persero), "SPLN D3.002-1:2001 Spesifikasi Transformator Distribusi." Jakarta, hal. 1–30, 2001.
[29] PT. PLN (Persero), "SPLN T3.002-1:2007 Panduan Pembebanan Transformator Daya." Jakarta, hal. 1–45, 2007