

Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA di GIS 150/20 kV Simpang

Moch. Ridho Firmansyah¹, Gatut Budiono², Reza Sarwo Widagdo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Email: mchrhd@gmail.com

Abstrak

Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, masyarakat memerlukan banyak listrik dan energi. Untuk memastikan agar energi listrik tersalurkan dengan baik, efisiensi peralatan harus terjaga. Energi listrik yang masuk ke transformator tidak sama dengan energi listrik yang keluar karena adanya rugi-rugi, yaitu arus yang hilang saat melewati transformator tersebut. Efisiensi transformator daya dapat dihitung dengan rumus efisiensi transformator. Pada transformator 60 MVA 150/20kV di GIS Simpang, beban puncak terbesar tercatat 25,70 MW pada tanggal 8 Maret 2024 pukul 19:00, sedangkan beban puncak terendah tercatat 23,05 MW pada tanggal 28 Februari 2024 pukul 10:00. Rugi-rugi total transformator terbesar adalah 2,62 MW yang terjadi pada tanggal 8 Maret 2024 pukul 19:00, sementara rugi-rugi total terendah adalah 2,11 MW pada tanggal 28 Februari 2024 pukul 10:00. Efisiensi pada beban puncak tertinggi adalah 91,5% yang terjadi pada tanggal 28 Februari 2024 pukul 10:00, dan efisiensi terendah pada beban puncak adalah 90,7% yang terjadi pada tanggal 8 Maret 2024 pukul 19:00. Penyebab efisiensi transformator tidak mencapai 100% adalah adanya rugi-rugi pada transformator.

Kata kunci: Beban Puncak, Efisiensi, Rugi Rugi Transformator.

PENDAHULUAN

Dengan pertumbuhan ekonomi yang meningkat dan pembangunan yang cepat, aktivitas masyarakat di berbagai sektor kehidupan juga semakin meningkat. Hal ini termasuk aktivitas di sektor industri dan rumah tangga. Karena meningkatnya aktivitas ini, kebutuhan akan energi listrik pun meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, baik di sektor industri maupun di rumah tangga, transformator menjadi salah satu peralatan yang penting untuk memastikan distribusi energi listrik yang efisien [1].

Peran vital dalam domain peralatan listrik dimainkan oleh transformator, yang berfungsi sebagai transformator step-down dan step-up. Transformator diperlukan untuk transmisi daya, salah satunya adalah transformator daya, biasanya terpasang di pembangkit listrik atau gardu induk pada sistem distribusi energi PT PLN (Persero) [2]. Pada gardu induk, transformator berguna untuk mengonversi tegangan tinggi menjadi tegangan menengah, yang terjadi pada ujung jalur suplai. Transformator daya ini memiliki satuan MVA yang disesuaikan dengan total daya listrik yang dibutuhkan oleh sistem. Biasanya, beberapa transformator digunakan pada gardu induk untuk memastikan ketahanan terhadap gangguan listrik yang memerlukan pemutusan aliran listrik pada saluran tegangan tinggi. Transformator daya ini juga dilengkapi dengan belitan pengatur tegangan untuk menjaga nilai output konstan.

Penelitian yang dilakukan oleh S. Pamungkas, e. Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA 150/20 kV Unit 1 Dan 2 Gardu Induk Kaliwungu [3], dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban puncak terhadap nilai efisiensi transformator. Dan di dapatkan hasil yaitu transformator 60 MVA 150/20 kV unit 1 memiliki beban puncak rata - rata pada siang dan malam hari lebih dari 66% dengan nilai efisiensi kurang dari 95% kemudian pada unit 2 beban puncak rata - rata pada siang dan malam hari lebih dari 17% dengan nilai efisiensi lebih dari 96%. Perbedaan beban puncak rata - rata pada kedua transformator berpengaruh pada nilai efisiensi kedua transformator. Nilai efisiensi pada unit 1 sebesar 94,37% dengan beban 34,4 MW pada siang hari, 93,84% nilai efisiensi dengan beban 38,8 MW pada malam hari. Kemudian pada unit 2 nilai efisiensi sebesar 96,35% beban 9,95 MW pada siang hari dan nilai efisiensi 96,32% beban 9,8 MW pada malam hari.

Dodi Setiabudi melakukan sebuah penelitian yang berjudul "Analisis Efisiensi Transformator Daya 20 MVA di Gardu Induk 150 KV Jember terhadap Perkembangan Beban" [4], penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi tentang optimalisasi efisiensi transformator di gardu induk 150 kV Jember dengan maksud untuk menentukan efisiensi transformator yang optimal sesuai dengan perkembangan beban yang akan datang. Pendekatan yang digunakan adalah dengan memperkirakan beban yang akan datang dalam bentuk arus (Ampere) di sisi sekunder. Dengan demikian, arus (Ampere) di sisi primer dapat dihitung, dan kemudian daya masukan (Watt) di sisi primer dan daya keluaran (Watt) di sisi sekunder dapat ditentukan. Dari data ini, kerugian transformator dapat diestimasi.

Dari beberapa kasus yang telah di jelaskan sebelumnya, penulis melakukan studi analisa efisiensi pada transformator daya 60 MVA supaya bisa mengetahui persentase efisiensi apakah sudah sesuai dengan standar SPLN. serta penelitian ini menganalisa, rugi-rugi daya transformator, rugi-rugi penjualan KWh dan efisiensi pada transformator.

METODE

Metode yang diterapkan dalam penyusunan tugas akhir penelitian dengan judul "Pengaruh Beban Puncak terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA di GIS 150 kV Simpang" melibatkan pengumpulan data dari pengukuran lapangan, yang kemudian dianalisis menggunakan persamaan matematis. Proses ini dimulai dengan perhitungan hambatan (R), rugi tembaga (Pcu), dan rugi total transformator daya, yang kemudian diikuti dengan perhitungan daya keluaran transformator daya. Langkah terakhir adalah menghitung nilai efisiensi yang dihasilkan oleh transformator daya yang terletak di Gardu Induk Simpang milik PT. PLN (Persero). Data yang diperlukan meliputi Spesifikasi transformator daya, beban puncak transformator daya, serta data tegangan, arus, dan tahanan transformator daya diperoleh dari survei dan observasi lapangan di Gardu Induk PT. PLN (Persero)

Hambatan (R)

Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut::

$$R = \frac{\text{Full Load Loss (w)}}{3 \times I^2} \quad (2.1)$$

dimana :

R = Hambatan

I_{FL} = Arus Beban Penuh

Dalam rangka mencari nilai IFL (Arus Beban Penuh), dapat digunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.2)$$

Rugi Rugi Tembaga (Pcu)

Kerugian tembaga terjadi akibat resistansi dalam gulungan transformator. Kerugian tembaga akan meningkat sejalan dengan peningkatan beban, sehingga peningkatan arus beban juga akan meningkatkan kerugian tembaga. Kerugian tembaga ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [5]:

Kerugian yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir melalui tembaga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_{cu} = 3 \times I^2 \times R \quad (2.3)$$

Dimana :

P_{cu} = Rugi Rugi Tembaga

$3 \times I^2$ = Arus Per Fasa

R = Hambatan

Rugi Rugi Total

Rugi keseluruhan pada transformator hasilnya diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Rugi Rugi Total} = P_{cu} + P_{core} \quad (2.4)$$

Keterangan

Pcu = Rugi Tembaga

Pcore = Rugi Inti

Daya Output Transformator

Untuk memperkirakan daya output pada sisi sekunder transformator, digunakan rumus berikut:

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I_{rata-rata} \times \cos \varphi \tag{2.5}$$

Untuk menghitung arus rata-rata pada sisi sekunder transformator, digunakan persamaan berikut :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{2.6}$$

Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh jumlah kerugian yang terjadi selama operasi normal. Efisiensi mesin-mesin berputar biasanya berkisar antara 50-60% karena adanya kerugian akibat gesekan dan hambatan udara. Sebaliknya, transformator tidak memiliki bagian yang bergerak, sehingga kerugian-kerugian tersebut tidak terjadi [6].

Efisiensi transformator merupakan rasio antara daya listrik yang keluar dari transformator (keluaran) dengan daya listrik yang masuk ke transformator (masukan). Meskipun transformator yang ideal memiliki efisiensi 100%, pada kenyataannya efisiensinya selalu kurang dari 100%. Secara matematis, efisiensi dapat dihitung dengan menganalisis daya keluaran, daya masukan dan total rugi menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{Keluaran (Poutput)}}{\text{Keluaran (Poutput) +Rugi Rugi Total}} \times 100\% \tag{2.7}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi transformator dan data transformator daya 60Mva

Tabel 1. Spesifikasi transformator daya

Lokasi	PT. PLN GIS Simpang
Serial Number	PX18-0193
Type	Uninhibited Napthenic NYNAS LIBRA
Merk	B&D Transformer
Tahun Pembuatan	2019
Rated Power (HV/LV)	36/60 MVA
Rated Voltage (HV/LV)	150/22 KVA
Connection	Yyn0+d
Jumlah Fasa	3 Fasa
Frekuensi	50 Hz
Load Loss	114.918 kW
No Load Loss	26.917 kW

Data arus dan tegangan pada Beban Puncak

Tabel 2. Data Pengamatan Arus dan Tegangan pada Pukul 10 : 00 WIB

TGL	10:00 WIB								
	SISI 150 KV					SISI 20 KV			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
12/02	95	94	91	26.2	7	748	764	753	20,7
13/02	98	97	97	26.5	7.7	757	774	752	20,8
14/02	93	92	91	26.2	7.6	755	750	748	20,6
15/02	101	101	100	26.8	7.6	762	779	782	20,8
16/02	104	102	102	26.5	7.4	770	771	779	20,8
19/02	90	91	91	26.1	7	751	764	755	20,6
20/02	91	92	94	26.2	7.6	752	759	758	20,7
21/02	93	95	95	26.4	7	751	750	764	20,7
22/02	98	96	96	26.5	7,9	766	772	769	20,6
23/02	98	97	96	26.1	7	762	751	772	20,7
26/02	91	93	94	26.7	7.8	751	764	755	20,8
27/02	92	90	92	26.4	7.9	755	758	760	20,8
28/02	104	107	105	26.1	7.9	760	693	701	20,6
29/02	103	105	107	26	7.3	769	766	774	20,7
01/03	95	96	95	26.2	7.4	749	767	755	20,6
04/03	94	97	97	26.5	7.5	760	758	756	20,7
05/03	98	95	94	26.6	7.1	765	770	774	20,8
06/03	94	93	93	26.5	7.7	746	748	767	20,6
07/03	98	99	99	26.4	7,8	764	766	769	20,7
08/03	108	106	105	26.5	7.9	786	762	760	20,9

Tabel 2 tersebut menyajikan data arus (dalam ampere), daya (dalam MWatt dan MVAR), serta tegangan (dalam kilovolt) yang diamati pada pukul 10:00 WIB setiap hari. Data ini terbagi menjadi dua bagian: bagian 150 kV dan bagian 20 kV. Pada bagian 150 kV, arus untuk fase R, S, dan T relatif stabil dengan sedikit variasi, dimana nilai tertinggi tercatat pada tanggal 08/03 dengan masing-masing sebesar 108 A, 106 A, dan 105 A, sementara nilai terendah tercatat pada tanggal 21/02 dengan masing-masing sebesar 91 A. Daya (MW) berkisar antara 25,9 MW hingga 26,9 MW, sedangkan daya reaktif (MVAR) menunjukkan fluktuasi yang lebih besar, berkisar antara 6,5 MVAR hingga 7,9 MVAR. Nilai MW tertinggi tercatat pada tanggal 06/03, 07/03, dan 08/03, sementara nilai MVAR tertinggi tercatat pada tanggal 08/03 dan nilai terendah tercatat pada tanggal 21/02. Pada bagian 20 KV, arus untuk fase R, S, dan T juga menunjukkan stabilitas dengan sedikit variasi, dimana nilai tertinggi tercatat pada tanggal 08/03 dengan masing-masing sebesar 768 A, 765 A, dan 768 A.

Tabel 3. Data Pengamatan Arus dan Tegangan pada Pukul 19 : 00 WIB

TGL	19:00 WIB								
	SISI 150 KV					SISI 20 KV			
	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T	KV
12/02	101	100	102	26.7	7.2	758	774	763	20,8
13/02	99	98	98	27	7.9	767	784	762	20,9
14/02	95	94	90	26.7	7.8	765	760	758	20,7
15/02	103	103	102	27.2	7.8	772	789	790	20,9
16/02	106	104	104	27	7.6	780	781	789	20,9
19/02	92	93	93	26.6	7.2	761	774	765	20,7
20/02	93	94	96	26.7	7.8	762	769	768	20,8
21/02	95	97	97	26.9	7.2	761	760	774	20,8
22/02	100	98	98	27	8	776	782	779	20,7
23/02	100	99	98	26.6	7.2	772	761	772	20,7
26/02	93	95	96	27.2	8	761	774	765	20,9
27/02	94	92	94	26.9	7.9	765	768	770	20,7
28/02	105	109	107	26.6	8	770	783	771	20,8
29/02	105	107	109	26.5	7.5	779	766	774	20,7
01/03	97	98	97	26.7	7.6	759	777	765	20,8
04/03	96	99	99	27	7.7	770	768	736	20,6
05/03	100	97	96	27.1	7.3	775	780	784	20,8
06/03	96	95	95	27	7.9	756	758	777	20,6
07/03	100	101	101	26.9	8	774	776	779	20,7
08/03	109	108	107	27	8	796	792	780	20,9

Perhitungan Hambatan

Hambatan dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut :

Hasil perhitungan arus beban penuh

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \tag{ 2.8 }$$

$$I_{FL} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 20.700}$$

$$I_{FL} = \frac{60.000.000}{35,853,451}$$

$$I_{FL} = 1673,47$$

Hasil perhitungan hambatan (R)

$$R = \frac{\text{Full Load Loss (w)}}{3 \times I^2} \tag{ 2.9 }$$

$$R = \frac{\text{Full Load Loss (w)}}{3 \times I^2}$$

$$R = \frac{114,918 \text{ kW}}{3 \times 1673,47^2}$$

$$R = \frac{114,918 \text{ kW}}{8.401.501 \text{ (A)}}$$

$$R = 1,36 \Omega$$

Perhitungan Rugi Tembaga

Rugi rugi tembaga dapat di peroleh hasilnya menggunakan persamaan berikut :

Hasil perhitungan rugi rugi tembaga

$$P_{cu} = 3 \times I^2 \times R \quad (2.10)$$

$$P_{cu} = 3 \times I^2 \times R$$

$$P_{cu} = (748^2 \times 1,36) + (764^2 \times 1,36) + (753^2 \times 1,36)$$

$$P_{cu} = (559.504 \times 1,36) + (583.696 \times 1,36) + (567.009 \times 1,36)$$

$$P_{cu} = (760.925,44) + (793.826,56) + (771.132,24)$$

$$P_{cu} = 2.325.884,24 \text{ (Watt)}$$

$$P_{cu} = 2,325 \text{ (MW)}$$

Perhitungan Rugi Rugi Total

Rugi rugi total diperoleh dari perhiitungan menggunakan rumus berikut :

Hasil perhitungan rugi rugi total

$$\text{Rugi Rugi Total} = P_{cu} + P_{core} \quad (2.11)$$

$$\text{Rugi Rugi Total} = 2.325.884,24 \text{ Watt} + 26.917 \text{ Watt}$$

$$\text{Rugi Rugi Total} = 2.352.801,24 \text{ Watt}$$

Perhitungan Daya Output Transformator

Daya Output dapat di hitung menggunakan persamaan berikut :

Hasil perhitungan arus sisi sekunder

$$I_{rata - rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2.12)$$

$$I_{rata - rata} = \frac{748 + 764 + 753}{3}$$

$$I_{rata - rata} = 755 \text{ (A)}$$

Hasil perhitungan daya output

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I_{rata - rata} \times \cos \varphi \quad (2.13)$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \times 20.700 \times 755 \times 0,9$$

$$P_{out} = 24.362.420,4 \text{ Watt}$$

$$P_{out} = 24,263 \text{ Mw}$$

Perhitungan Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

Hasil perhitungan efisiensi transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{Keluaran (Poutput)}}{\text{Keluaran (Poutput) + Rugi Rugi Total}} \times 100\% \quad (2.14)$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{24.362.420,4}{24.362.420,4 + 2.352.221,6} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{24.362.420,4}{26.715.221,6} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 91,1 \%$$

Tabel 4. Hasil Efisiensi Transformator pukul 10 : 00 WIB

Pukul 10 : 00				
Tanggal	Pin (MW)	Pout (MW)	Rugi-Rugi total (MW)	Efisiensi
12/02/24	26,71	24,36	2,35	91,1
13/02/24	27,09	24,67	2,42	91
14/02/24	26,42	24,11	2,31	91,2
15/02/24	27,60	25,09	2,50	90,9
16/02/24	27,56	25,06	2,50	90,9
19/02/24	26,62	24,27	2,34	91,1
20/02/24	26,75	24,39	2,36	91,1
21/02/24	26,71	24,36	2,35	91,1
22/02/24	27,11	24,69	2,42	91
23/02/24	26,95	24,55	2,39	91,1
26/02/24	26,90	24,51	2,39	91
27/02/24	26,94	24,54	2,40	91
28/02/24	25,17	23,05	2,11	91,5
29/02/24	27,27	24,81	2,46	90,9
01/03/24	26,65	24,30	2,34	91,1
04/03/24	26,83	24,45	2,37	91,1
05/03/24	27,41	24,93	2,48	90,8
06/03/24	26,50	24,18	2,32	91,2
07/03/24	27,14	24,71	2,42	91
08/03/24	27,54	25,05	2,49	90,9

Pada Tabel 4, Transformator menunjukkan kinerja yang konsisten dengan efisiensi sekitar 91%, menunjukkan operasi yang stabil dengan fluktuasi minor. Efisiensi dihitung dengan membagi daya output dengan daya input dan dikalikan 100%, misalnya pada tanggal 12/02/24 efisiensi sebesar 91,17%, yang sesuai dengan efisiensi yang dilaporkan sebesar 91,1%. Rugi-rugi daya yang relatif stabil menunjukkan efisiensi yang baik, meskipun dapat diminimalkan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi. Tidak ada tren signifikan yang terlihat dalam data selama tanggal-tanggal yang diberikan, menunjukkan tidak ada perubahan operasional besar atau masalah selama periode tersebut. Secara keseluruhan, transformator beroperasi dengan efisiensi tinggi dan kerugian minimal, mempertahankan tingkat efisiensi di atas 90%.

Tabel 5. Hasil Efisiensi Transformator Pukul 19 : 00 WIB

Pukul 19 : 00				
Tanggal	Pin (MW)	Pout (MW)	Rugi-Rugi Total (MW)	Efisiensi
12/02/24	27,25	24,80	2,44	91
13/02/24	27,62	25,11	2,50	90,9
14/02/24	26,94	24,55	2,38	91,1
15/02/24	28,09	25,51	2,58	90,7
16/02/24	28,09	25,51	2,58	90,7
19/02/24	27,14	24,71	2,42	91
20/02/24	27,29	24,83	2,45	90,9
21/02/24	27,25	24,80	2,44	91
22/02/24	27,63	25,13	2,50	90,9
23/02/24	27,27	24,78	2,43	91
26/02/24	27,43	24,95	2,47	90,9
27/02/24	27,18	24,74	2,43	91
28/02/24	27,60	25,09	2,51	90,9
29/02/24	27,40	24,94	2,46	91
01/03/24	27,33	24,86	2,46	90,9
04/03/24	26,69	24,34	2,35	91,1
05/03/24	27,80	25,25	2,54	90,8
06/03/24	26,89	24,50	2,38	91,1
07/03/24	27,52	25,04	2,48	90,9
08/03/24	28,33	25,70	2,62	90,7

Dari hasil olah data didapatkan hasil dari efisiensi transformator daya pada beban puncak terbesar adalah 25,70 MW dengan efisiensi 90,7% yang terjadi pada tanggal 8 bulan Maret 2024 dan Beban puncak terkecil adalah 23,05 MW dengan efisiensi transformator 91,5 % yang terjadi pada tanggal 24 Febuari 2024.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi transformator pada beban puncak adalah 91,5%, yang terjadi pada tanggal 28 Februari 2024 pukul 10:00. Sedangkan efisiensi terendah pada beban puncak adalah 90,7%, yang terjadi pada tanggal 8 Maret 2024 pukul 19:00. Penyebab transformator tidak dapat mencapai efisiensi 100% adalah karena adanya rugi-rugi yang terjadi di dalamnya. Dari kesimpulan tersebut, terbukti bahwa terdapat keterkaitan antara beban, rugi-rugi, dan efisiensi transformator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini. Terima kasih kepada PT. PLN (Persero) GIS Simpang yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian, dan kepada dosen pembimbing yang selalu membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. K. Mubarak and H. Tasmono, "Studi Pengaruh Rugi-Rugi Transformator Daya Terhadap Efisiensi Transformator Daya 60 Mva Di Pt Pln (Persero) Gi Babat," *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 2023–899, 2023.
- [2] D. dan A. R. T. SINABUTAR, "Jurnal Ilmiah 'DUNIA ILMU' VOL. 2. NO. 4 Desember 2016," *Anal. PERHITUNGAN SISA Mater. TULANGAN PADA BALLROOM Proy. Kant. Ina. DENGAN MENGGUNAKAN Apl. Softw. Optim. WASTE BESI Oleh*, vol. 5, no. 1, pp. 142–148, 2019.
- [3] S. Pamungkas, "Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 Mva 150/20Kv Unit 1 Dan 2 Di Gardu Induk Kaliwungu," vol. 50196, pp. 1–5, 2022.
- [4] Dodi Setiabudi, "Analisa Effisiensi Transformator Daya 20 Mya Gardu Induk 150 I(V Jember Teriiadap Perkembangan Beban Feeder," *J. Rekayasa Teknol.*, vol. 2, no. 10, pp. 1–104, 2009.
- [5] N. Prayogi, I. Widiastuti, and M. Haddin, "Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan," *Cyclotron*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [6] D. Darsono, S. Suyamto, and T. Taufik, "Analisis Efisiensi Trafo Frekuensi Tinggi Pada Sumber Tegangan Tinggi Cockcroft Walton Mbe Lateks," *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 17, no. 2, p. 101, 2016, doi: 10.17146/gnd.2014.17.2.2815.