

Studi Kejenuhan pada *Current Transformer* (CT) Akibat Arus Hubung Singkat

Giri Angga Setia¹, Een Taryana¹, Naufal Nur Aiman¹, Ahmad Daelami¹, dan Hikmah Prasetia²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²PT PLN (Persero) Perencanaan Strategis Transmisi, Jakarta, Indonesia

giri.anggasetia@gmail.com, eentaryana96@gmail.com, naufalnuraiman98@gmail.com,

ahmad.daelami@lecture.unjani.ac.id, hikmah.p@pln.co.id

Abstrak

Model pendekatan analisis saturasi CT dilakukan dengan menggunakan simulasi software ATPDraw dan Mathcad. Input data simulasi diperoleh dari pengujian CT pada GI Priok Barat yaitu rasio, kurva eksitasi V-rms-Irms, Rct. Berdasarkan hasil simulasi, bahwa model CT berhasil diimplementasikan terhadap kondisi CT di GI Priok Barat yang mengalami kejenuhan, terlihat dari hasil bentuk gelombang yang mengalami distorsi dan nilai THDi sebesar 40,612%. Hasil ini selanjutnya dibandingkan dengan standar IEC 61869-2 dengan parameter yang didapat dari pengujian CT-Analyzer terhadap ϵ -t, Ek, Ie, Kx, dan Rct, bahwa ϵ -t sebesar -1%, Ek sebesar 635,25 V, Ie sebesar 13,5 mA, Kx sebesar 0,084 dan Rct 7432,57 Ω . Hasil ini mengalami penyimpangan dari standar yang ditentukan artinya CT tersebut mengalami kerusakan dan kejenuhan. Setelah dilakukan penggantian CT, diuji kembali dan didapatkan nilai ϵ -t sebesar -0,010%, Ek sebesar 936,09 V, Ie sebesar 9,68 mA, Kx sebesar 14,39 A, Rct sebesar 4,226 Ω , serta hasil simulasi bentuk gelombang tidak mengalami distorsi, kemudian nilai THDi didapat sebesar 0,08%. Hal ini menunjukkan bahwa CT dalam keadaan baik dan tidak mengalami kejenuhan ketika nilai arus hubung singkat sebesar 20 kA.

Kata kunci: ATPDraw, kejenuhan, Mathcad, transformator arus

Abstract

The CT saturation analysis approach model was carried out using ATPDraw and Mathcad software simulations. Input simulation data obtained from CT testing at West Priok Substation, namely ratio, excitation curve V-rms-Irms, Rct. Based on the simulation results, the CT model was successfully implemented for CT conditions at the West Priok Substation which experienced saturation, as seen from the results of the distorted waveforms and the THDi value of 40.612%. These results are then compared with the IEC 61869-2 standard with the parameters obtained from the CT-Analyzer test on ϵ -t, Ek, Ie, Kx, and Rct, that ϵ -t is -1%, Ek is 635.25 V, Ie is 13.5 mA, Kx of 0.084 and Rct of 7432.57 Ω . This result is a deviation from the specified standard, meaning that the CT is damaged and saturated. After replacing the CT, it was tested again and the value of ϵ -t was -0.010%, Ek was 936.09 V, Ie was 9.68 mA, Kx was 14.39 A, Rct was 4.226 Ω , and the waveform simulation results were not distorted, then the THDi value obtained by 0.08%. This indicates that the CT is in good condition and does not experience saturation when the short circuit current is 20 kA.

Keywords: ATPDraw, saturate, Mathcad, current transformer

1. Pendahuluan

Listrik adalah suatu energi yang keberadaannya sangat dibutuhkan oleh manusia sehingga dalam penyaluran energinya, listrik harus mampu menyalurkannya secara kontinu. Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting untuk menunjang kehidupan manusia saat ini dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Secara umum dapat dikatakan bahwa energi listrik pada zaman ini tergolong kebutuhan primer, dimana energi listrik menjadi salah satu energi yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Oleh karenanya dalam menyalurkan energi listrik harus memenuhi 3 hal penting, yaitu keandalan (*reliability*), kualitas (*quality*) dan stabilitas (*stability*) (Setia et al., 2016) (BPPT, 2019).

Keandalan merupakan kemampuan sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus-menerus, kualitas merupakan kemampuan sistem untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi, serta stabilitas merupakan kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami gangguan (Biswal & Biswal, 2019) (Biswal & Biswal, 2019). Namun dibalik semua hal itu gangguan sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan merupakan suatu ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik dimana timbulnya

Info Makalah:

Dikirim : 07-06-23;

Revisi 1 : 08-07-23;

Diterima : 08-16-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 856-6556-649

e-mail : giri.anggasetia@gmail.com

ketidaknormalan ini menjadikan penyaluran tenaga listrik menjadi terhambat yang juga nantinya akan merusak pada peralatan sistem tenaga listrik. Sehingga ketidaknormalan gangguan ini perlu di minimalisir kemunculannya (Marwan et al., 2016)(Zhao et al., 2023).

Sistem proteksi mempunyai peranan dalam meminimalisir gangguan pada sistem tenaga listrik (Seo & Gwon, 2019). Salah satu komponen dalam sistem proteksi adalah transformator arus. Transformator arus merupakan peralatan

yang merubah arus yang nilainya besar pada sisi primer menjadi arus yang nilainya kecil pada sisi sekunder, sehingga bisa digunakan sebagai masukan relai (Herlender et al., 2020). Pada saat munculnya gangguan arus hubung singkat, muncul arus yang sangat besar pada sisi primer transformator, transformator arus harus mampu mendeteksi arus yang sangat besar tersebut dimana dalam keadaan seperti ini transformator arus tidak diperbolehkan mengalami kejenuhan (Hasanah et al., 2019) (Ilyas & Agassy, 2021). Ketika kejenuhan terjadi maka arus pada sisi sekunder transformator nilainya akan menjadi sangat kecil, ketika hal ini terjadi transformator arus yang seharusnya memberikan masukan arus yang bernilai sesuai rating kerjanya terhadap relai namun memberikan masukan arus yang bernilai dibawah rating kerjanya relai, sehingga relai yang seharusnya bekerja ketika mendeteksi arus yang sangat besar setelah mendapatkan sinyal masukan dari transformator arus justru relai tidak akan bekerja ketika mendeteksi arus yang sangat besar setelah mendapatkan sinyal masukan dari transformator arus atau dengan kata lain relai mengalami malfungsi (Wen et al., 2021) (Transformers—Part, 1996) (IEC 61869-2, 2012).

Penelitian tentang evaluasi transformator arus perlu dilakukan pada GI priok barat mengingat sering terjadinya sambaran petir yang mengakibatkan DS pada GI priok barat mengalami open. Transformator arus salah satunya berfungsi sebagai konversi besaran arus, arus yang telah dikonversi dijadikan sebagai masukan terhadap relai-relai dan pms yang terhubung pada sisi sekunder CT. Apabila CT mengalami kejenuhan maka CT tidak akan bisa bekerja untuk mengkonversi besaran arus sesuai dengan rasionya (Kanokbannakorn & Penthong, 2019). Maka diperlukan analisis pemodelan terhadap performa transformator arus pada GI priok barat mengingat CT merupakan sebagai sensor dalam memberi perintah pada relai dan pms yang terhubung (Naseri et al., 2019) (Education, 2021).

Penelitian tentang studi model digital transformator arus untuk analisis unjuk kerja transien relai proteksi. Evaluasi eksperimental dari model CT diimplementasikan menggunakan EMTP, dimana model yang dikembangkan pada program EMTP memberikan hasil yang sangat memuaskan untuk sebagian besar kasus (Ahamed & Rao, 2015)(Syahputra, 2015). Salah satu perangkat lunak yang cukup populer dalam bidang sistem tenaga listrik adalah Electromagnetic Transients Program (ATP) yang merupakan versi dari EMTP adalah alat yang mampu digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja transformator arus (Afonso et al., 2020a)(Afonso et al., 2020b)(Georgiev et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang masalah, dibutuhkan suatu analisis kejenuhan transformator arus terhadap gangguan arus hubung singkat. Analisis yang dilakukan menggunakan pendekatan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ATPDraw sebagai representasi model transformator arus dan perangkat lunak MATHCAD sebagai perhitungan nilai-nilai paramater yang dibutuhkan dalam memodelkan transformator arus.

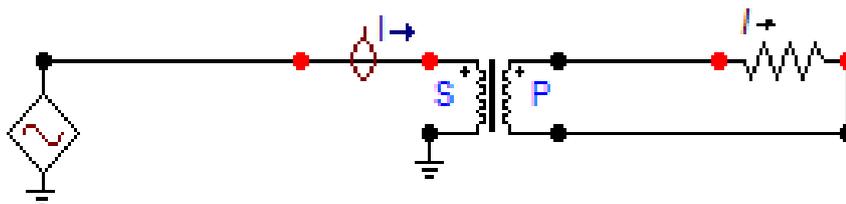
2. Metode

Untuk metode analisis dan pemodelan analisis kinerja *current transformer* terhadap arus hubung singkat dimodelkan menggunakan ATPDraw, dari pemodelan tersebut memiliki beberapa tahap dalam melakukan pemodelan. Tahapan pemodelan yang dilakukan diawali dengan melakukan pengumpulan data berupa hasil pengujian OMICRON CT ANALYZER yaitu berupa rasio CT, resistansi belitan sekunder, resistansi beban, kurva eksitasi Vrms-Irms dan karakteristik CT GI priok barat. Simulasi dengan memodelkan CT yang dipakai pada GI Priok Barat, dimodelkan menggunakan perangkat lunak ATPDraw, pemodelan dilakukan dengan memasukkan data yang telah diperoleh sebelumnya. Kondisi CT terhadap arus hubung singkat dan resistansi beban dimasukkan kedalam pemodelan untuk memaksimalkan hasil yang didapat. Implementasi pemodelan CT dari simulasi yang dilakukan kemudian diterapkan pada CT GI priok barat. Hasil implementasi pemodelan CT dilakukan analisis kinerja terhadap kejenuhan CT. Nilai THDi yang dapat diperoleh dari bentuk domain frekuensi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$THDi = \frac{I_{hmrs}}{I_{rms}} \times 100 \quad (1)$$

Model CT yang dibuat merupakan model CT yang dapat diterapkan pada kondisi operasi yang serupa dengan kondisi yang berada di lapangan seperti pada gambar 1. Pemodelan yang dilakukan dengan memasukkan kurva eksitasi Vrms-Irms dan nilai Rct dari hasil pengujian serta nilai arus hubung singkat yang terjadi dan nilai resistansi beban yang terhubung pada sisi sekunder CT.

Berikut model CT pada ATPDraw:



Gambar 1. Model ATPDraw.

Standar IEC 61869-2 digunakan sebagai rujukan dalam menentukan CT dalam keadaan baik atau dalam keadaan buruk. CT pada GI priok barat merupakan CT kelas PX, dimana dalam menentukan keadaan CT berdasarkan standar IEC 61869-2 terhadap beberapa parameter, yaitu seperti pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter CT Kelas Px Terhadap Standar Iec 61869-2.

$\epsilon-t$	Nilai $\epsilon-t$ terukur $\leq 0.25\%$
E_k	Nilai E_k terukur \geq Nilai rating E_k
I_e	Nilai I_e terukur $<$ Nilai rating I_e
K_x	Nilai rating $K_x \leq$ Nilai K_x terukur
R_{ct}	Nilai rating $R_{ct} \geq$ Nilai R_{ct} terukur

Tabel 2 merupakan data rating CT yang berisikan parameter dalam menentukan keadaan CT pada GI priok barat kelas PX.

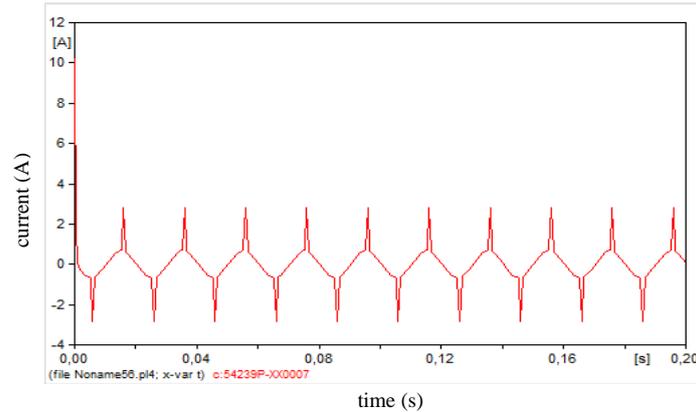
Tabel 2. Data Rating CT.

Primary current I-pn:	2500.0 A	Nominal Burden:	60.00 VA
Secondary current I-sn:	1.0 A	Operating Burden:	60.0 VA
Frequency:	50 Hz	Rct:	5.041 Ω
Class:	PX	K_x :	14.39 A
E_k :	936.09 V	I_e :	9.69 mA

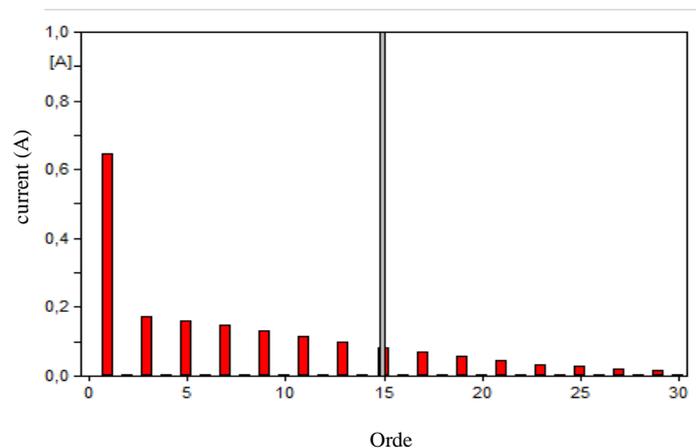
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Simulasi ATPDraw

Simulasi dilakukan dengan memasukan parameter nilai yang telah diperoleh dari hasil pengujian CT menggunakan CT-Analyzer OMICRON yaitu kurva eksitasi, burden, dan Rct. Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan arus pada sisi primer sebesar 20 kA, dimana injeksi ini merupakan nilai arus hubung singkat yang terjadi pada saat gangguan di GI Priok Barat. Berikut hasil simulasi CT pada GI Priok Barat:



Gambar 2. Hasil Simulasi ATPDraw dalam Bentuk Domain Waktu.



Gambar 3. Hasil Simulasi ATPDraw dalam Bentuk Domain Frekuensi.

Dari hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan ATPDraw seperti yang ditampilkan oleh gambar 2 dan gambar 3 bahwa CT mengalami kejenuhan, kejenuhan tampak terlihat pada bentuk gelombang yang mengalami kecacatan dan terdistorsi begitupun pada bentuk domain frekuensi terlihat munculnya nilai harmonisa orde ganjil yang tinggi. Dengan menggunakan perhitungan THDi pada persamaan (1), dapat diketahui nilai THDi yang menyebabkan kejenuhan pada CT GI priok barat sebagai berikut:

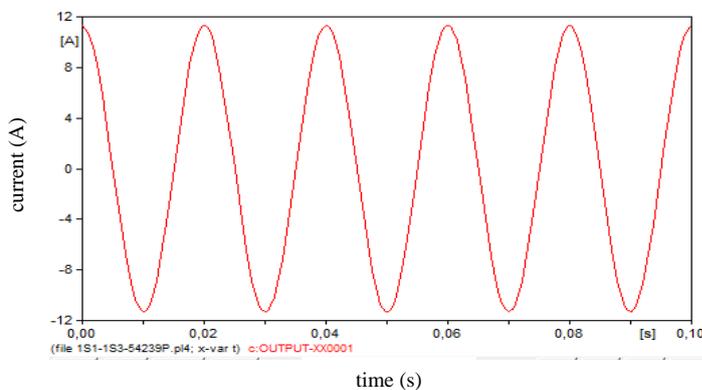
$$I_{hrms} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2} = \sqrt{0,18^2 + 0,17^2 + 0,14^2} = 0,284 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2} = \sqrt{0,64^2 + 0,18^2 + 0,17^2 + 0,14^2} = 0,7 \text{ A}$$

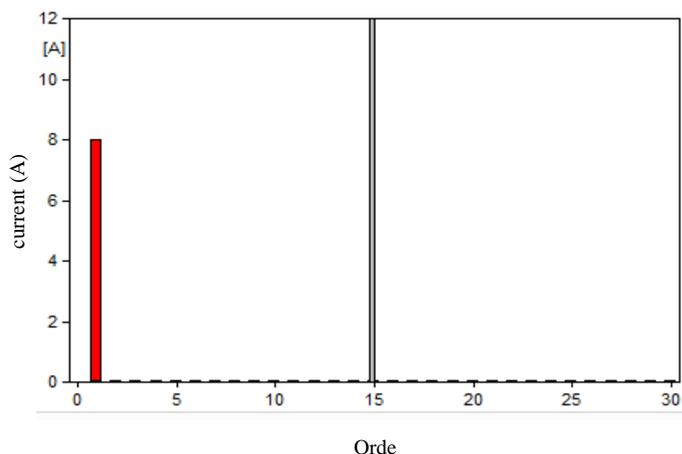
$$THDi = \frac{I_{hrms}}{I_{rms}} \times 100 = 40,612 \%$$

Dari hasil perhitungan di atas orde yang digunakan dalam menghitung THDi ini hanya menggunakan orde satu sampai orde 7, orde satu diwakili dengan I1, orde 3 diwakili dengan I3, orde 5 diwakili dengan I5, dan orde 7 diwakili dengan I7. Dari hasil yang didapat dari perhitungan nilai THDi sebesar 40.612%. Nilai THDi ini sudah melebihi ketentuan yaitu sebesar 5%. Sehingga dari bentuk gelombang yang terdistorsi dan harmonisa yang muncul sudah dikatakan bahwa CT pada GI priok barat mengalami kejenuhan.

Pada CT sebelumnya, yang mengalami kejenuhan akibat mengalirnya arus di sisi primer sebesar 20 kA terlihat dari bentuk gelombang yang terlihat cacat atau terdistorsi dan munculnya nilai orde-orde ganjil yang tinggi pada domain frekuensi. Berikut hasil simulasi CT pada GI Priok Barat setelah melakukan penggantian CT baru:



Gambar 4. Hasil Simulasi ATPDraw dalam Bentuk Domain Waktu Setelah Dilakukan Penggantian CT.



Gambar 5. Hasil Simulasi ATPDraw dalam Bentuk Domain Frekuensi Setelah Dilakukan Penggantian CT.

Dari hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan ATPDraw hasil penggantian CT seperti yang ditampilkan oleh gambar 4 dan gambar 5 bahwa CT tidak mengalami kejenuhan ketika mengalirnya arus hubung singkat sebesar 20 kA, CT dalam keadaan baik tampak terlihat pada bentuk gelombang yang masih dalam keadaan sinusoidal penuh, begitupun pada bentuk domain frekuensi terlihat munculnya nilai harmonisa orde ganjil yang sangat kecil. Dengan menggunakan perhitungan THDi, dapat diketahui nilai THDi CT dalam keadaan baik pada GI priok barat setelah dilakukan penggantian sebagai berikut:

$$I_{hrms} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2} = \sqrt{0,0049^2 + 0,0035^2 + 0,0022^2} = 0,0064411 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2}$$

$$= \sqrt{8^2 + 0,0049^2 + 0,0035^2 + 0,0022^2} = 8 \text{ A}$$

$$THDi = \frac{I_{hrms}}{I_{rms}} \times 100 = 0,08 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai THDi didapat nilai sebesar 0,08%. Sehingga dari bentuk gelombang yang ditampilkan dan muncul nya THDi sebesar 0,08% yang nilainya kurang dari 5% dapat dikatakan dalam keadaan baik dan tidak mengalami kejenuhan.

3.2. Hasil Pengujian CT Berdasarkan Standar IEC 61869-2

Dibawah ini merupakan hasil pengujian CT menggunakan CT-Analyzer pabrikan OMICRON, sebagai berikut:

Tabel 3. Resistansi *Secondary Winding*.

R-meas:	7432,57 Ω
R-ref:	5,041 Ω

Tabel 4. Rasio CT.

Used Burden:	60.0 VA
Used I-p:	2500.00A
Ratio:	2500.0 : 0.9
Deviation:	-10%
RCF:	1.11
N:	2475
ε-t:	-1%

Tabel 5. Hasil Eksitasi CT.

EK:	635.25 V	Ie:	13.5 mA
Results with nominal burden:		Results with operating burden:	
Burden:	60.0 VA	Burden:	60.0 VA
Kx:	0.084	Kx:	0.084

Tabel 6. Nilai Kurva *Vrms-Irms*.

Vrms (V)	Irms (A)
1147	2,958
1115	0,418
1081	0,0527
1068	0,03209
1053	0,02093
1033	0,01506
1004	0,01193
975,7	0,01065
940,1	0,009766
898	0,00907
848,3	0,008433
788,4	0,007778
717,5	0,00708
633	0,006307
536,9	0,005467
516,9	0,005285
502,8	0,005161
489,3	0,005045
477,9	0,004947
465,6	0,004843
453,6	0,00474
442	0,004643
429,9	0,004541
418,1	0,004442
86,28	0,001354

Dari data hasil pengujian pada tabel III sampai tabel VI diperoleh nilai ϵ -t sebesar -1%, Ek sebesar 635,25 V, Ie sebesar 13,5 mA, Kx sebesar 0,084 dan Rct 7432,57 Ω . Hasil ini mengalami penyimpangan dari standar yang ditentukan, dimana nilai ϵ -t \geq 0,25 %, nilai Ek yang terukur \leq nilai Ek rating, nilai Ie yang terukur \geq nilai Ie ratingnya, nilai Kx yang terukur \leq nilai Kx rating, dan nilai Rct yang terukur \geq nilai Rct rating nya. Nilai rating untuk CT pada GI priok barat seperti yang diperlihatkan pada tabel 2. Sehingga CT pada GI priok barat dapat dikatakan mengalami kejenuhan dikarenakan parameter yang didapatkan tidak sesuai dengan standar IEC 61869-2.

Setelah dilakukan penggantian CT pada GI priok barat diperoleh data hasil pengujian dengan nilai yang berbeda, yaitu:

Tabel 7. Resistansi Secondary Winding Hasil Penggantian dengan CT.

R-meas:	4.226 Ω
R-ref:	5.041 Ω

Tabel 8. Rasio Hasil Penggantian Dengan CT.

Used Burden:	60,0 VA
Used I-p:	2500,00A
Ratio:	2500,0 : 0,9994
Deviation:	-0,061%
RCF:	1,00061
N:	2499,74
ϵ-t:	-0,010%

Tabel 9. Hasil Eksitasi Penggantian CT.

Ek:	936.09 V	Ie:	9.68 mA
Results with nominal burden:		Results with operating burden:	
Burden:	60.0 VA	Burden:	60.0 VA
Kx:	14.39	Kx:	14.39

Tabel 10. Nilai Kurva Vrms-Irms Hasil Penggantian CT

Vrms (V)	Irms (A)
1147	2,958
1115	0,418
1081	0,0527
1068	0,03209
1053	0,02093
1033	0,01506
1004	0,01193
975,7	0,01065
940,1	0,009766
898	0,00907
848,3	0,008433
788,4	0,007778
717,5	0,00708
633	0,006307
536,9	0,005467
516,9	0,005285
502,8	0,005161
489,3	0,005045
477,9	0,004947
465,6	0,004843
453,6	0,00474
442	0,004643
429,9	0,004541
418,1	0,004442
86,28	0,001354
1	0,0000889

Setelah dilakukan penggantian CT dengan yang terhubung didapat hasil pengujian seperti yang diperlihatkan pada tabel 7 sampai tabel 10, dari hasil pengujian yang dilakukan data hasil pengujian dibandingkan terhadap tabel 2 berdasarkan standar yang dipakai, dimana tabel 2 merupakan data rating CT pada GI priok barat. Hasil yang diperoleh untuk melihat kinerja dari CT hasil penggantian bahwa nilai parameter ϵ -t, Ek, Ie, Kx, Rct diketahui bahwa nilai

yang didapat sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu $\varepsilon-t$ $-0,010\% \leq 0,25\%$, E_k $936,09V \geq 936,09V$, I_e $9,68 \text{ mA} < 9,69 \text{ mA}$, K_x $14,39 \text{ A} \leq 14,39 \text{ A}$, R_{ct} $5,041 \Omega \geq 4,226 \Omega$. Sehingga CT yang dipakai dalam keadaan baik karena sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu berdasarkan standar IEC 61869-2.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka penulis mengambil kesimpulan bahwa kondisi CT pada GI Priok Barat dari hasil pengujian terhadap nilai parameter $\varepsilon-t$, E_k , I_e , K_x , dan R_{ct} berdasarkan standar IEC 61869-2, dengan nilai $\varepsilon-t$ sebesar -1% , E_k sebesar $635,25 \text{ V}$, I_e sebesar $13,5 \text{ mA}$, K_x sebesar $0,084 \text{ A}$ dan R_{ct} sebesar $7432,57 \Omega$ mengalami ketidaksesuaian terhadap standar yang digunakan, serta dari hasil simulasi yang dilakukan bentuk gelombang yang ditampilkan mengalami kecacatan atau terdistorsi akibat munculnya harmonisa dengan nilai THDi yang muncul sebesar $40,612\%$. Sehingga CT dapat dikatakan dalam keadaan rusak dan dalam keadaan jenuh. Setelah dilakukan penggantian CT pada GI Priok Barat didapatkan data dari hasil pengujian terhadap nilai parameter $\varepsilon-t$, E_k , I_e , K_x , dan R_{ct} berdasarkan standar IEC 61869-2, dengan nilai $\varepsilon-t$ sebesar $-0,010\%$, E_k sebesar $936,09 \text{ V}$, I_e sebesar $9,68 \text{ mA}$, K_x sebesar $14,39 \text{ A}$ dan R_{ct} sebesar $4,226 \Omega$ bahwa setelah penggantian CT dilakukan nilai parameter yang didapatkan sesuai dengan standar dan hasil simulasi menunjukkan bahwa bentuk gelombang yang ditampilkan berbentuk sinusoidal penuh dengan muncul nya harmonisa dibawah 5% yaitu sebesar $0,08\%$. Sehingga CT setelah dilakukan penggantian dalam keadaan baik dan tidak mengalami kejenuhan. Faktor penyebab terjadinya kejenuhan pada transformator arus adalah munculnya arus yang sangat tinggi di sisi primer yang melebihi dari rating In dan nilai beban yang tinggi di sisi sekunder yang melebihi rating beban CT. Model ATPDraw yang dilakukan dapat digunakan dan diterapkan dalam mensimulasikan transformator arus guna melihat karakteristik dari CT yang ingin dimodelkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Tenaga Listrik Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani dan PT PLN UIT Jawa Bagian Barat atas dukungannya dalam keikutsertaan pada kegiatan penelitian ilmiah ini.

Daftar Notasi

THDi = *Total harmonic Distortion* [%]
 E_k = *Rate knee point* [V]
 I_e = *Maximum exciting current* [A]
 K_x = *Dimensioning factor* [A]
 R_{ct} = *Secondary winding resistance* [Ohm]

Daftar Pustaka

- Afonso, J. I., Toscano, P., & Briozzo, I. (2020a). Current Transformer model validation on EMTP-ATP software. 2020 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition - Latin America, T and D LA 2020. <https://doi.org/10.1109/TDLA47668.2020.9326157>
- Afonso, J. I., Toscano, P., & Briozzo, I. (2020b). Current transformer modeling for electromagnetic transient simulation in protection systems. 2020 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition - Latin America, T and D LA 2020. <https://doi.org/10.1109/TDLA47668.2020.9326170>
- Ahamed, R. M., & Rao, A. S. (2015). Saturation Analysis of Current Transformer. *International Journal of Research & Review (Www.Gkpublikation.In)*, 2(6), 337.
- Biswal, S., & Biswal, M. (2019). Detection of current transformer saturation phenomenon for secured operation of smart power network. *Electric Power Systems Research*, 175(October 2018), 105926. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105926>
- BPPT. (2019). Outlook Energi Indonesia 2019 The Impact of Increased Utilization of New and Renewable energy on the National Economy. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Education, M. (2021). Modelling of Power Transformer for Differential Protection Using ATP-EMTP. 12(9), 2770–2776.
- Georgiev, D., Rangelov, Y., & Georgiev, G. (2021). Current Transformer Performance under High Voltage Cable Related Transients. 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference, Bulef 2021, September. <https://doi.org/10.1109/Bulef53491.2021.9690825>
- Hasanah, A. W., Koerniawan, T., & Yuliansyah, Y. (2019). Kajian Ketelitian Current Transformer (CT) Terhadap Kesalahan Rasio Arus pada Pelanggan 197 kVA. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 9–16. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.390>
- Herlender, J., Izykowski, J., & Solak, K. (2020). Compensation of the current transformer saturation effects for transmission line fault location with impedance-differential relay. *Electric Power Systems Research*, 182(January). <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106223>

- IEC 61869-2. (2012). International Standard International Standard. In 61010-1 © Iec:2001 (Vol. 2003).
- Ilyas, I., & Agassy, M. T. (2021). ANALISIS KEGAGALAN CURRENT TRANSFORMER (CT) TIPE DUA BELITAN SEKUNDER DENGAN INTI MAGNETIK TERPISAH PADA SISTEM PROTEKSI DAN PEMBATA DAYA Iriandi Ilyas dan Muhamad Taufan Agassy Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN Jl . Moh . Kahfi II Jagakarsa , Jaka. Sinusoida, XXIII(1), 1–10.
- Kanokbannakorn, W., & Penthong, T. (2019). Improvement of a Current Transformer Model based on the Jiles-Atherton Theory. 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia, GTD Asia 2019, 3, 495–499. <https://doi.org/10.1109/GTDAAsia.2019.8715956>
- Marwan, M., L, R., & Samsul, N. M. (2016). Analisis Gangguan Tidak Seimbang pada Line Transmisi GI Sungguminasa-GI Tallasa. INTEK: Jurnal Penelitian, 3(2), 102. <https://doi.org/10.31963/intek.v3i2.60>
- Naseri, F., Kazemi, Z., Farjah, E., & Ghanbari, T. (2019). Fast Detection and Compensation of Current Transformer Saturation Using Extended Kalman Filter. IEEE Transactions on Power Delivery, 34(3), 1087–1097. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2895802>
- Seo, H. C., & Gwon, G. H. (2019). Systematization of the simulation process of transformer inrush current using EMTP. Applied Sciences (Switzerland), 9(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app9122398>
- Setia, G. A., Sianipar, G. H. M., & Paribo, R. T. (2016). The performance comparison between fast decoupled and backward-forward sweep in solving distribution systems. 3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2016, 247–251. <https://doi.org/10.1109/ICPERE.2016.7904871>
- Syahputra, R. (2015). Uji Karakteristik Transformator Arus Berbasis Perangkat Lunak EMTP (Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software). JTE-U, 1(1), 1–5.
- Transformers—Part, I. (1996). 1: Current Transformers. IEC Std, 60, 41–44.
- Wen, J., Chen, W., Jiao, X., Wu, M., & Zheng, T. (2021). Integration of a Protection/Measurement Current Transformer based on Compensation Algorithm. 2021 IEEE 4th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/SCEMS52239.2021.9646084>
- Zhao, J., Chen, W., Li, K., Teng, Z., Li, N., Wen, T., & Fan, X. (2023). Analysis of Conducted Disturbance via Current Transformer Due to Switch Operation of GIS Disconnecter in UHV Substation. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 9(3), 1227–1234. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.05580>