

Pengujian Peluahan Sebagian Menggunakan Rogowski Coil Inti Ferit dan Non Ferit dengan Variasi Lilitan Sebanyak 10 Lilitan

Asri Indah Lestari¹, Fadilah²

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang
asri_indahlestari@um-palembang.ac.id¹, fadilah@um-palembang.ac.id²

Received 06 Oktober 2022 | Revised 20 Oktober 2022 | Accepted 08 November 2022

ABSTRAK

Peluahan Sebagian adalah salah satu fenomena yang terjadi pada sistem tenaga listrik, yang ditandai dengan fenomena panas yang akan mengganggu sistem isolasinya. Apabila fenomena ini dibiarkan pada waktu yang lama maka akan mengganggu proses penyaluran tenaga listrik ke konsumen, bahkan bisa membuat terhentinya proses penyaluran tenaga listrik. Pengujian Peluahan Sebagian dapat dilakukan pengujian dengan 2 cara yaitu konvensional dengan menggunakan kopling kapasitor dan non konvensional dengan menggunakan metode elektromagnetik, metode optik, metode akustik, dan metode kimia. Pengujian Peluahan Sebagian pada penelitian ini menggunakan cara non konvensional dengan metode elektromagnetik. Metode elektromagnetik yang digunakan adalah Rogowski Coil dengan inti ferit dan non ferit. Masing-masing inti Rogowski Coil memiliki diameter dalam 1.2 cm, diameter luar 2.5 cm, tinggi 2.5 cm, dan lilitan sebanyak 10 lilitan. Hasil pengujian Peluahan Sebagian terlihat bahwa Rogowski Coil inti non ferit lebih cepat merespon dibandingkan dengan Rogowski Coil inti ferit. Sedangkan untuk tingkat sensitivitas dari kedua inti yang digunakan untuk pengujian Peluahan Sebagian, terlihat bahwa Rogowski Coil dengan inti ferit lebih sensitif dari pada inti non ferit dengan nilai sensitivitas sebesar 11.63%.

Kata kunci: Peluahan Sebagian, Rogowski Coil, Ferit, Non Ferit

Partial Discharge is one of the phenomena that occurs in the electric power system, which is characterized by the phenomenon of heat which will disrupt the insulation system. If this phenomenon is left for a long time, it will disrupt the process of distributing electricity, even stopping the process of distributing electricity. Partial discharge testing can be tested in 2 ways, namely conventional using coupling and conventional using electromagnetic methods, optical methods, acoustic methods, and chemical methods. Moisture testing in part in this study uses a non-conventional method with the electromagnetic method. The electromagnetic method used is the Rogowski Coil with ferrite and non-ferrite cores. Each Rogowski Coil core has an inner diameter of 1.2 cm, an outer diameter of 2.5 cm, a height of 2.5 cm and a total of 10 turns. The results of the partial sweat test show that the non-ferrite core Rogowski Coil responds faster than the ferrite core Rogowski Coil. As for the sensitivity level of the second core used for partial discharge testing, it can be seen that the Rogowski Coil with a ferrite core is more sensitive than the non-ferrite core with a sensitivity value of 11.63%.

Keywords: Partial Discharge, Rogowski Coil, Ferrite, Non-Ferrite

I. PENDAHULUAN

Peluahan Sebagian adalah salah satu fenomena yang menghasilkan panas, gelombang elektromagnetik dan gelombang akustik, dimana semakin sering terjadi maka akan semakin mengganggu sistem isolasinya, baik itu isolasi padat, cair, maupun gas, dan akan mengganggu proses penyaluran tenaga listrik (Binotto, Castro, Santos, Rey, & Andreoli, 2020). Peluahan sebagian terdiri dari 3 jenis yaitu peluahan sebagian internal, peluahan sebagian permukaan, dan peluahan korona (Solihin, Nainggolan, & Despa, 2016).

Peluahan sebagian internal biasanya terjadi pada celah atau rongga didalam material isolasi padat atau cair, maka kuat medan didalam rongga tersebut akan lebih besar dari pada disekelilingnya. Apabila hal ini dibiarkan dalam waktu yang lama, maka akan memperburuk keadaan dielektrik disekelilingnya. Peluahan sebagian permukaan terjadi di permukaan isolasi padat yang tidak tertutupi oleh konduktor yang diakibatkan karena adanya pelepasan muatan dari konduktor ke media gas atau cair. Sedangkan peluahan korona adalah peluahan yang terjadi pada titik logam yang tajam di suatu medan listrik, peluahan ini dapat ditemukan di elektroda tegangan tinggi, tetapi peluahan korona juga dapat terjadi di sisi yang dibumikan (Kreuger, 1992).

Berdasarkan Standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) pengujian Peluahan Sebagian dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara konvensional dan non konvensional. Standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 62070 menjelaskan bahwa pengujian Peluahan Sebagian dilakukan secara konvensional dengan menggunakan kopling kapasitor (Standard, 2001). Sedangkan Standar

IEC (*International Electrotechnical Commission*) 62748 menjelaskan bahwa pengujian Peluahan Sebagian dilakukan secara non konvensional dengan menggunakan metode elektromagnetik, metode optik, metode akustik, dan metode kimia (Standard, 2016).

Rudolf Ribeiro Riehl dkk, melakukan penelitian dengan membandingkan anatara dua jenis inti Rogowski Coil yang berbeda yakni ferit dan teflon. Dalam pengujian eksperimental, pelepasan penuh diinduksi dalam transformator yang berisi minyak, dan sinyal arus yang dihasilkan oleh Rogowski Coil akan dibandingkan dengan menggunakan Power Spectrum Density (PSD) (Riehl, et al., 2021). Eka Putra Waldi dkk, melakukan penelitian perbandingan inti Rogowski Coil yakni inti non ferit menggunakan *back wire* dengan inti yang tidak menggunakan *back wire*, dengan variasi jumlah lilitan sebanyak 5, 10, 20, dan 40 lilitan (Waldi, et al., 2020).

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran Peluahan Sebagian menggunakan metode Rogowski Coil dengan inti yang berbeda, yakni inti ferit, dan inti non ferit dengan lilitan sebanyak 10 lilitan. Selain melakukan perbandingan pengukuran dengan inti yang berbeda, penelitian ini juga membandingkan dengan pengukuran sensor Haefely.

II. METODE PENELITIAN

Rogowski Coil bekerja berdasarkan Induksi Elektromagnetik dengan salah satu faktor umumnya yaitu banyaknya jumlah belitan, dimana arus sesaat yang mengalir melalui belitan primer akan menghasilkan medan magnet berupa fluks. Medan magnet fluks ini menginduksi belitan sekunder. Belitan sekunder akan menghasilkan fluks yang berlawanan pada belitan primer, yang ditunjukkan dengan terjadinya beda potensial antara ujung-ujung belitan, yakni belitan primer dan belitan sekunder. Tegangan ini digunakan untuk melihat respon dari arus sesaat yang akan dideteksi. Tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perubahan arus yang dihasilkan dari waktu ke waktu. Tegangan induksi yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan (1) berikut ini (Waldi, et al., 2020), (Waldi, et al., 2021):

$$E = M \frac{di_0}{dt} \quad (1)$$

Dimana i_0 adalah arus sesaat dari Peluahan Sebagian yang melewati belitan primer, yang berubah terhadap waktu. M adalah induktansi bersama antara belitan sekunder dan belitan primer pada Rogowski Coil. M dapat dihitung dengan persamaan (2) berikut ini:

$$M = NW \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (2)$$

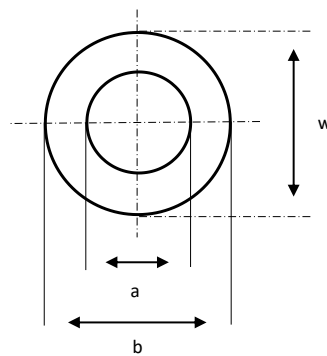
Dimana N adalah banyaknya jumlah lilitan yang digunakan pada Rogowski Coil. W adalah tinggi Rogowski Coil dengan ukuran 2.5 cm, a adalah diameter dalam Rogowski Coil dengan ukuran 1.2 cm, dan b adalah diameter luar Rogowski Coil dengan ukuran 2.5 cm yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada penelitian sebelumnya semua peneliti setuju (Argueso, Robles, & Sanz, 2005), (Waldi, et al., 2020), (Waldi, et al., 2021), (Waldi, et al., 2019) bahwa rangkaian ekuivalen untuk Rogowski Coil ditunjukkan seperti pada Gambar 2. Sedangkan untuk persamaan induktansi diri dapat ditunjukkan pada persamaan (3) berikut:

$$L = N^2 W \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (3)$$

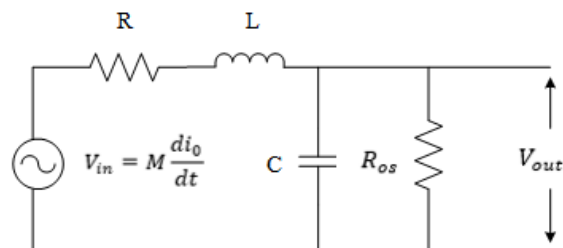
Pengujian linieritas dilakukan pada sensor untuk mengetahui kenaikan input pada charge kalibrator. Perhitungan total muatan pada Peluahan Sebagian dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut ini:

$$Q = CV \quad (4)$$

Dimana Q adalah besaran simulasi muatan dengan satuan pico coulombs (pC), C adalah kapasitor dengan satuan Farad (F), dan V adalah besaran tegangan.

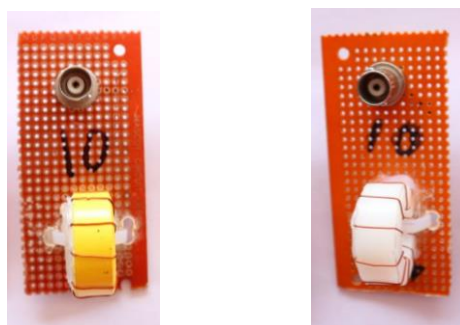


Gambar 1. Dimensi Rogowski Coil



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Rogowski Coil

Penelitian ini menggunakan metode non konvensional dengan menggunakan metode elektromagnetik yaitu Rogowski Coil yang berinti ferit yang dinamakan dengan FN10 dan non ferit yang dinamakan dengan NN10, masing-masing intinya memiliki 10 jumlah lilitan yang ditunjukkan pada Gambar 3.

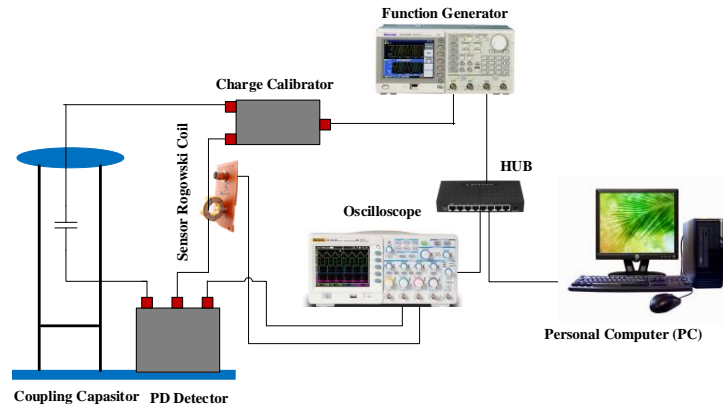


(a)

(b)

Gambar 3. (A) Rogowski Coil Inti Ferit (B) Rogowski Coil Inti Non Ferit

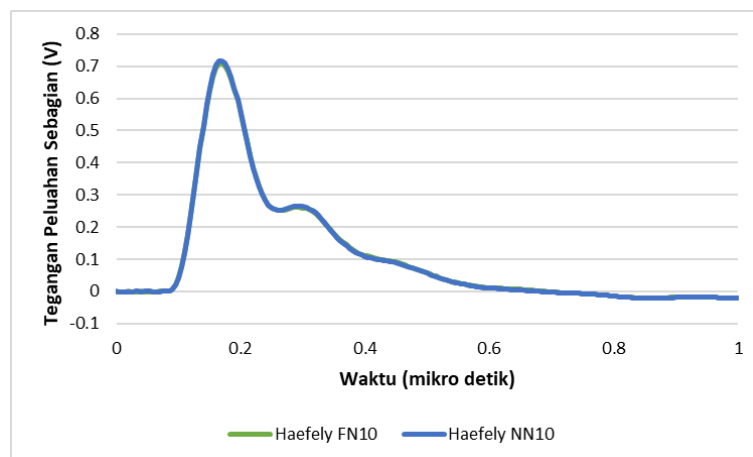
Pengujian Rogowski Coil ditunjukkan pada Gambar 4 yang memerlukan beberapa alat pendukung seperti generator fungsi dengan impedansi 50 Ohm, kalibrator muatan, osiloskop, kapasitor kopling, detektor PD, dan sensor Haefely (sensor komersial) sebagai pembanding. Generator fungsi berfungsi sebagai sumber dan pengatur beban yang menjadi masukan untuk kalibrator muatan. Bagian atas dari kapasitor kopling terhubung ke salah satu input kalibrator muatan, kapasitor kopling berfungsi sebagai pembagi tegangan dan sebagai sensor frekuensi rendah yang artinya sensor ini hanya menerima frekuensi tinggi dan tidak menerima frekuensi rendah. Sedangkan bagian bawah kapasitor kopling terhubung dengan detektor PD dan output dari sensor terhubung ke Chanel 2 pada osiloskop. Bagian ground dari sensor tersebut terhubung ke salah satu input dari Rogowski Coil dan sisi lainnya terhubung ke charge kalibrator yang belum terhubung. Kemampuan membaca sensor ini dapat dilihat dengan menghubungkan output dari Rogowski Coil ke Chanel 3 pada osiloskop, setelah selesai maka hasil pengukuran dapat disimpan.



Gambar 4. Rangkaian Pengujian Rogowski Coil

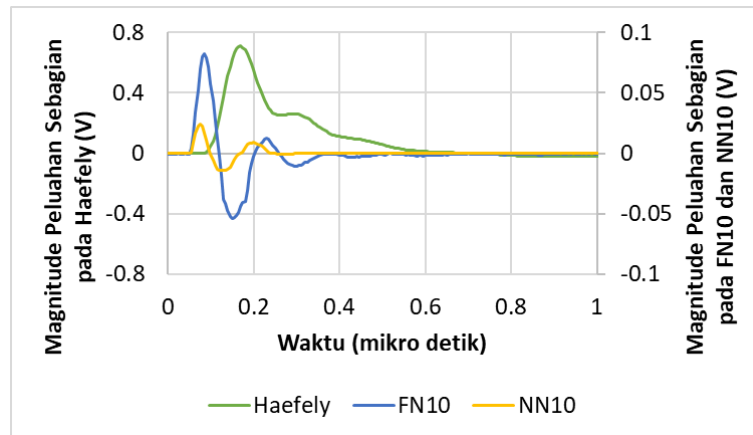
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan membandingkan sensor Haefely dan Rogowski Coil inti ferit dan non ferit dengan jumlah muatan yang diinjeksikan ke rangkaian sebesar 705 pC. Respon dari sensor Haefely saat pengujian memiliki hasil respon yang sama yaitu 0.706 Volt, baik itu saat pengujian sensor haefely dengan Rogowski Coil inti ferit maupun dengan inti non ferit, yang ditunjukkan pada Gambar 5. Respon dari sensor Haefely mengalami kenaikan pada waktu 0.085 mikrodetik dan mulai mengalami penurunan pada waktu 0.175 mikrodetik sampai dengan 0.58 mikrodetik.



Gambar 5. Pengaruh Inti Rogowski Coil Terhadap Tegangan Sensor Haefely

Respon dari sensor Rogowski Coil dengan inti ferit menunjukkan hasil yang lebih besar daripada inti non ferit yang ditunjukkan pada Gambar 6. Dimana bentuk gelombang yang dihasilkan oleh Rogowski Coil berbeda dengan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sensor Haefely, yakni respon dari Rogowski Coil dalam keadaan berisolasi atau berbentuk redaman terlalu rendah.



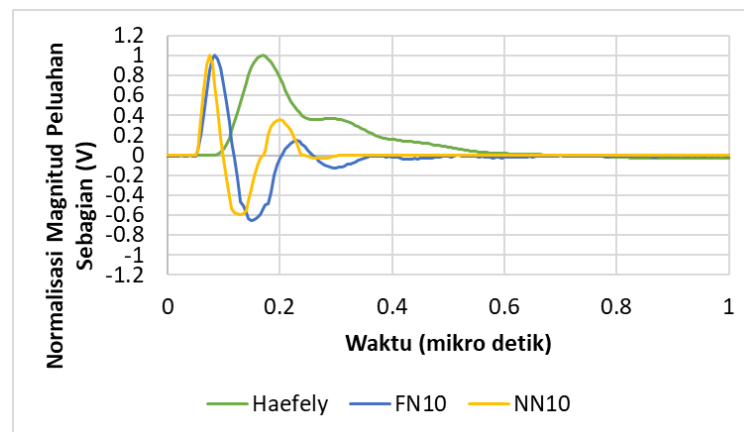
Gambar 6. Magnitude Tegangan Haefely, FN10, dan NN10

Perbandingan tegangan minimum dan maksimum dari sensor Haefely dan Rogowski Coil dengan inti ferit dan non ferit ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini. Tegangan minum dari Rogowski Coil antara inti non ferit dan ferit mengalami penurunan, sedangkan untuk tegangan maksimumnya mengalami kenaikan.

Tabel 1. Tegangan Minimum dan Maksimum Haefely dan Rogowski Coil

Jenis Sensor	Tegangan Minumum	Tegangan Maksimum
NN10	-0.0145	0.02439
FN10	-0.05374	0.08216
Haefely	-0.02469	0.706

Hasil pada Gambar 6 terlihat perbedaan grafik yang terlalu jauh antara Rogowski Coil dan sensor Haefely, sehingga dilakukan normalisasi gelombang dengan membagi nilai tegangan maksimum pada Tabel 1 untuk setiap inti Rogowski Coil. Hasil gelombang yang telah dilakukan normalisasi dapat dilihat pada Gambar 7, dimana Rogowski Coil inti non ferit lebih cepat merespon jika dibandingkan dengan inti ferit.



Gambar 7. Normalisasi Gelombang Haefely, FN10, dan NN10

Nilai induktansi bersama Rogowski Coil inti ferit dan non ferit dihitung menggunakan persamaan (2) dan nilai induktansi diri menggunakan persamaan (3) yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini. Perbedaan nilai ini dipengaruhi dari nilai permeabilitas masing-masing inti, yakni nilai permeabilitas untuk ferit adalah 75 H/m, sedangkan permeabilitas untuk non ferit adalah 0,22 H/m.

Tabel 2. Nilai Induktansi Bersama dan Induktansi Diri

Jenis Sensor	Induktansi Bersama (H)	Induktansi Diri (H)
FN10	2.1913	9.9342
NN10	6.4280×10^{-3}	0.0642

Dari pengujian kedua inti yang berbeda dari Rogowski Coil memiliki tingkat sensitivitas dengan cara membagi nilai tegangan maksimum setiap inti Rogowski Coil dengan nilai tegangan maksimum sensor Haefely, lalu dikalikan dengan 100%, maka tingkat sensitivitasnya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Tingkat Sensitivitas Rogowski Coil

Jenis Sensor	Tingkat Sensitivitas
FN10	11.63%
NN10	3.45%

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang didapatkan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai tegangan sensor Haefely tidak mengalami perubahan ketika dilakukan pengujian dengan Rogowski Coil berinti ferit dan non ferit.
2. Dari pengujian 2 sensor yang telah dilakukan terlihat bahwa sensor yang memiliki sensitivitas yang baik berada pada sensor Rogowski Coil inti ferit dengan nilai sensitivitasnya sebesar 11.63%.

DAFTAR PUSTAKA

- Argueso, M., Robles, G., & Sanz, J. (2005). Implementation of a Rogowski Coil for the Measurement of Partial Discharges. *Review of Scientific Instruments*, 1-12.
- Binotto, A., Castro, B. A., Santos, V. V., Rey, J. A., & Andreoli, A. L. (2020). A Comparison between Piezoelectric Sensors Applied to Multiple Partial Discharge Detection by Advanced Signal Processing Analysis. *Engineering Proceedings*, 1-6.
- Kreuger, F. H. (1992). *Industrial High Voltage*. Netherlands: Delft University Press.
- Riehl, R. R., Castro, B. A., Fraga, J. R., Puccia, V., Lucas, G. B., & Andreoli, A. L. (2021). Assessment of Rogowski Coils for Measurement of Full Discharges in Power Transformers. *Engineering Proceedings*, 1-7.
- Solihin, A., Nainggolan, J. M., & Despa, D. (2016). Karakteristik Peluahan Sebagian (Partial Discharge) pada Isolasi Karet Silikon (Silicone Rubber) Menggunakan Sensor Emisi Akustik. *Informatika dan Teknik ElektroTerapan*, 1-6.
- Standard, B. (2001). *PD IEC/TS 62070: 2000 High Voltage Test Techniques Partial Discharge Measurement*.
- Standard, B. (2016). *PD IEC/TS 62478: 2016 High Voltage Test Techniques Measurement of Partial Discharge by Electromagnetic and Acoustic Methods*.
- Waldi, E. P., Frenzi, A. Y., Fernandez, R., Darmawan, Darwison, Laksono, H. D., . . . Hozumi, N. (2019). Development of Rogowski Coil Sensor for Partial Discharge Detection. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1-6.
- Waldi, E. P., Lestari, A. I., Fernandez, R., Mulyadi, S., Murakami, Y., & Hozumi, N. (2020). Rogowski Coil Sensor in the Digitization Process to Detect Partial Discharge. *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, 1062-1071.
- Waldi, E. P., Winarta, F. P., Lestari, A. I., Fernandez, R., Lasono, H. D., Aulia, . . . Hozumi, N. (2021). The Effect of the Core Material of the Rogowski Coil Sensor on the Sensitivity of the Magnitude of Partial Discharge. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1-7.