

Analisis Efisiensi Dan Fluktuasi Arus Netral Transformator Distribusi Pada Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar

Abdul Hafid¹, dan Andi Faharudin²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar Jl.

Sultan Alauddin No. 259 Makassar 90221

e-mail: abdul.hafid@unismuh.ac.id

Abstrak— Tulisan ini menyajikan hasil evaluasi efisiensi dan analisis fluktuasi arus netral sebagai dampak ketakseimbangan beban (unbalance current) pada trafo distribusi 250 kVA, 3 fasa, 380/220 V, 50 Hz dengan kelompok vektor Dyn5 pada Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar. Evaluasi efisiensi transformator dilakukan berdasarkan informasi rugi-rugi tanpa beban dan rugi-rugi berbeban sesuai nameplate transformator. Selanjutnya hasilnya dibandingkan dengan standar SPLN 50. Hasil yang diperoleh adalah bahwa efisiensi transformator yang diteliti memenuhi syarat. Dalam penelaaian ini juga ditinjau persentase ketakseimbangan beban atau persentase ketakseimbangan arus (unbalance current) menggunakan dua metode. Metode pertama menggunakan metode arus fasa rata-rata, dan formulasi kedua menggunakan metode deviasi arus fasa maksimum terhadap arus fasa rata-rata. Berdasarkan data pengukuran, dapat disimpulkan bahwa metode pertama memberi informasi persentase ketakseimbangan beban yang lebih kecil dibandingkan dengan metode kedua untuk arus netral yang sama. Dampak dari beban yang tidak seimbang pada trafo distribusi disajikan dalam bentuk grafik fluktuasi arus netral yang mengalir dari titik netral trafo ke tanah.

Kata kunci: efisiensi trafo distribusi, ketakseimbangan beban, fluktuasi arus netral

Abstract— *This paper presents the results of efficiency evaluation and analysis of neutral current fluctuations as an impact of load unbalance (unbalance current) on a 250 kVA, 3-phase, 380/220 V, 50 Hz distribution transformer with the Dyn5 vector group at the Muhammadiyah University of Makassar Campus. Transformer efficiency evaluation is carried out based on information on no-load losses and loaded losses according to the transformer nameplate. Furthermore, the results are compared with the SPLN 50 standard. The results obtained are that the efficiency of the studied transformer meets the requirements. In this study, the percentage of load unbalance or the percentage of unbalance current is also reviewed using two methods. The first method uses the average phase current method, and the second formulation uses the maximum phase current deviation method against the average phase current. Based on the measurement data, it can be concluded that the first method provides information on a smaller percentage of load unbalance compared to the second method for the same neutral current. The impact of an unbalanced load on a distribution transformer is presented in the form of a graph showing the fluctuation of the neutral current flowing from the transformer's neutral point to ground.*

Keywords: distribution transformer efficiency, load unbalance, neutral current fluctuation

I. PENDAHULUAN

Transformator distribusi merupakan salah satu peralatan dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC 20 kV pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menjadi tegangan AC 380/220 V pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Secara umum transformator distribusi terbagi dua, yaitu transformator distribusi fasa-tunggal dan fasa-tiga. Daya pengenalan untuk trafo fasa tunggal biasanya memiliki kapasitas rendah, yaitu 25 kVA dan 50 kVA. Sedangkan untuk trafo fasa-tiga, daya pengenalnya mulai dari 50 kVA sampai 1600 kVA. Transformator distribusi didesain dengan berbagai kelompok vektor, misalnya kelompok vektor Yzn5, Yyn6, dan Dyn5. Khusus untuk trafo berkapasitas 250 kVA sampai dengan 1600 KVA kumparannya didesain membentuk vektor Dyn5. Dalam

standar SPLN 50, efisiensi yang dipersyaratkan berturut turut adalah 98.09, 98.38, 98.56 dan 98.32 % untuk pembebanan 100, 75, 50 dan 25 % dari kapasitas beban penuhnya. Sebagaimana diketahui besar kecilnya efisiensi sebuah transformator dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu kerugian daya atau losses pada inti besi (disebut rugi daya tanpa beban) dan losses akibat arus mengalir pada kawat tembaga pada sisi primer dan sekunder dalam kondisi berbeban (disebut rugi daya berbeban).

Dalam operasi sistem tenaga listrik, sistemnya dirancang untuk beroperasi dalam sistem tiga fasa seimbang, yaitu bahwa tegangan dan arus fasa sebuah transformator tiga fasa digambarkan sebagai fasor atau vektor dengan sudut 120° terpisah satu sama lain. Suatu sistem tiga fasa disebut seimbang atau simetris jika vektor

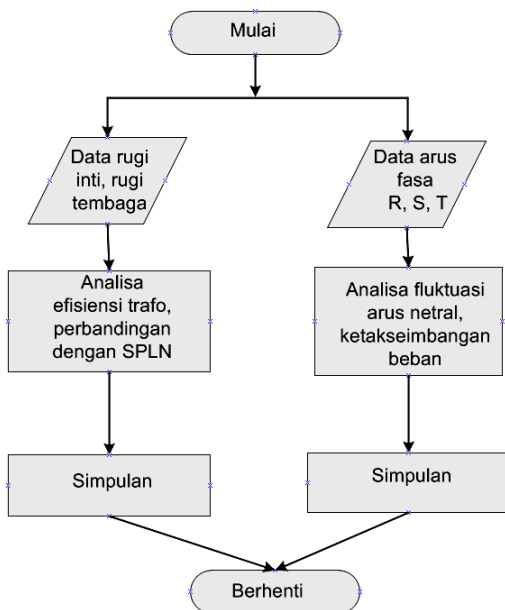
tegangan atau vektor arus setiap fasanya memiliki besar (*magnitude*) yang sama dan sudut fasanya terpisah 120°. Dalam praktik didapati beban (arus fasa) pada sisi sekunder trafo distribusi 3 fasa umumnya tidak sama besarnya (sisi sekunder trafo distribusi terhubung dengan jaringan tegangan rendah dan ke instalasi listrik rumah pelanggan). Dampak dari beban yang tidak sama pada trafo distribusi atau disebut sebagai ketidakseimbangan beban tersebut adalah akan timbul arus netral yang mengalir dari titik netral trafo ke penghantar pentanahan ke tanah.

Berdasarkan uraian di atas maka pada tulisan ini dilakukan analisa fluktuasi arus netral pada trafo distribusi kapasitas 250 kVA pada Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar akibat ketidakseimbangan beban (unbalance current) menggunakan dua metode

II. METODE

Alur Penelitian

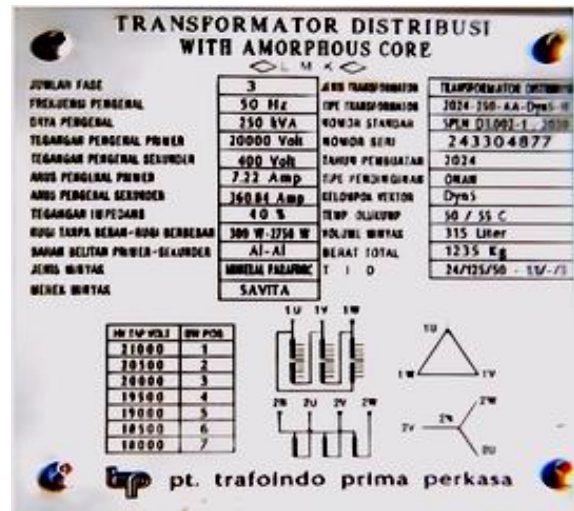
Alur penelitian diperlihatkan pada gambar 1, untuk analisa efisiensi trafo digunakan data rugi tanpa beban dan rugi berbeban sesuai name plate trafo. Hasil analisa efisiensi selanjutnya dibandingkan dengan SPLN 50. Untuk analisa fluktuasi arus netral trafo dan perhitungan ketidakseimbangan beban digunakan data arus sekunder trafo setiap fasa (R, S, T). Pengukuran arus sekunder trafo dilakukan dengan menggunakan Tang ampere (*Clamp Meter*) dengan spesifikasi 393 FC CAT III 1500 V True-rms Clamp Meter dengan iFlex merek FLUKE. Alat ukur ini memiliki resolusi 0.1 A untuk rentang pengukuran ≤ 999.9 A, dan 1 A untuk rentang pengukuran ≤ 2500 A. Pengambilan data arus dilakukan pada jam kantor buka dari jam 8.00 – 17.00 WITA. Metode pengambilan data arus dilakukan setiap 20 menit sehingga diperoleh 27 sampel data arus fasa seperti dicantumkan dalam tabel 3.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Objek yang diteliti

Transformator distribusi yang dikaji pada tulisan ini adalah transformator distribusi yang berlokasi pada Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar dengan kapasitas 250 kVA tiga fasa 380/220 V, 50 Hz dengan nameplate diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Name plate trafo distribusi 250 kVA

Tabel 1 Rugi-rugi trafo distribusi 250 kVA

Vector group	No Load Losses (Watt)	Load Losses at 75°C (Watt)	Impedance At 75°C (%)
Dyn5	300	2750	4.0

Perhitungan efisiensi transformator.

Rugi pada transformator terbagi dua, yaitu:

- ❖ Rugi tembaga, rugi ini terjadi karena terdapat kawat tembaga pada kumparan primer dan sekunder yang dialiri arus
- ❖ Rugi besi atau rugi inti yang terdiri dari rugi histeresis dan rugi arus eddy.

Untuk faktor daya tetap $\cos(\phi) = \alpha$, rugi besi tetap, P_i nilainya tertentu (dalam tabel 1 rugi inti disebut rugi tanpa beban), sedangkan rugi tembaga P_{cu} tidak tetap tergantung pembebanan (dalam tabel 1 rugi inti disebut rugi berbeban)

- Rugi tembaga pada beban tertentu (*i* KVA) dihitung dengan persamaan

$$P_{cu} = \left(\frac{\text{beban tertentu, } i \text{ KVA}}{\text{beban penuh KVA}} \right)^2 \times P_{cuFL} \quad (1)$$

dimana P_{cuFL} = rugi tembaga pada beban penuh

$$\text{Rugi total, } P_{total} = P_{cu} + P_i \quad (2)$$

Daya masuk pada beban *i* KVA,

$$P_{in} = \text{beban } i \text{ KVA} \times \cos(\phi) + P_{total} \quad (3)$$

dan daya keluar pada beban *i* KVA,

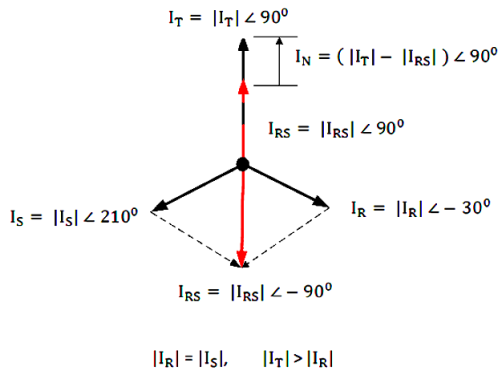
$$P_{out} = \text{beban } i \text{ KVA} \times \cos(\phi) \quad (4)$$

dan efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (5)$$

Dampak beban tidak seimbang pada trafo distribusi

Umumnya dalam praktik, sisi sekunder transformator distribusi dibebani dengan beban yang tidak sama besarnya, akibatnya arus mengalir pada fasa R, S dan T pada sisi sekunder transformator distribusi tidak sama besarnya. Kondisi dimana trafo distribusi mengalirkan arus fasa tidak sama besar disebut sebagai ketidakseimbangan arus (*unbalance current*) atau ketidakseimbangan beban. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Arus tidak seimbang pada sekunder transformator distribusi menghasilkan arus netral

Pada gambar 2, misalkan beban trafo distribusi pada fasa R dan S sama besar akan tetapi beban pada fasa T tidak sama dengan beban fasa R dan S, maka akibatnya magnitude arus fasa T tidak sama dengan magnitude arus fasa R dan S. Sehingga terdapat arus netral yang mengalir pada penghantar yang terhubung dengan titik netral sisi sekunder trafo dengan tanah. Arus yang mengalir pada penghantar netral merupakan salah satu sumber kerugian daya (losses) pada JTR.

Pada tulisan ini digunakan dua metode untuk menghitung ketidakseimbangan beban, yaitu:

- Metode Pertama

Metode pertama banyak dipakai oleh peneliti [4, 9, 14, 15] dalam menghitung ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi. Metode ini dinyatakan dengan persamaan (5). Pada persamaan (5), ketidakseimbangan beban dihitung dengan menggunakan koefisien a, b, dan c. Pada kondisi seimbang maka nilai arus rata-rata I_{rt} sama dengan arus fasa I_R, I_S, I_T dan nilai $a = b = c = 1$. Sebaliknya pada kondisi tak seimbang koefisien $a \neq b \neq c \neq 1$.

Ketakseimbangan arus (%) =

$$\frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100 \quad (5)$$

$$a = \frac{I_R}{I_{rt}}, b = \frac{I_S}{I_{rt}}, c = \frac{I_T}{I_{rt}}$$

$$I_{rt} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

dimana I_R, I_S, I_T dan I_{rt} , masing masing adalah arus fasa R, S, T dan arus rata-rata.

- Metode kedua

Perhitungan untuk menentukan ketidakseimbangan tegangan atau arus [3] juga dapat menggunakan persamaan (6). Pada metode kedua, persentase ketidakseimbangan menggunakan tiga langkah dalam perhitungan :

1. Tentukan rata-rata tegangan atau arus
2. Hitung deviasi tegangan atau arus terbesar
3. Bagi deviasi maksimum dengan rata-rata tegangan atau arus dan kalikan dengan 100 %

ketidakseimbangan = (Deviasi maksimum dari rata-rata V atau I/rata-rata V atau I) x 100

$$\text{Ketakseimbangan arus (\%)} = \frac{I_{maks} - I_{rt}}{I_{rt}} \times 100 \quad (6)$$

dimana I_{maks} adalah arus terbesar dari salah satu fasa terhadap arus rata-rata.

Arus netral dihitung dengan menggunakan persamaan

$$I_N = 3I_0 = |I_R| \angle -30^\circ + |I_S| \angle 210^\circ + |I_T| \angle 90^\circ \quad (7)$$

dimana I_N dan I_0 masing-masing adalah arus netral dan arus urutan nol.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel 1, data rugi tanpa beban (rugi inti) dan rugi berbeban (rugi tembaga) transformator 250 kVA, maka diperoleh efisiensi trafo seperti dalam tabel 2.

Tabel 2 Efisiensi trafo untuk faktor daya 1.0 dan 0.8 lag

Faktor daya = 1.0				
Beban		Efisiensi (%)		
% beban penuh (%)	kVA	Hitungan (%)	SPLN 50 (%)	
25	62.5	99.251	98.65	
50	125	99.216	98.84	
75	187.5	99.025	98.70	
100	250	98.795	98.46	
Faktor daya = 0.8 lag				
Beban		Efisiensi (%)		
% beban penuh (%)	kVA	Hitungan (%)	SPLN 50 (%)	
25	62.5	99.065	98.32	
50	125	99.022	98.56	
75	187.5	98.784	98.38	
100	250	98.498	98.09	

Dalam tabel 2, diperlihatkan hasil perhitungan efisiensi trafo untuk beban penuh, 75% , 50% dan 25% beban penuh dengan faktor daya 1 dan 0.8 lag. Hasilnya bahwa

Tabel 3 data pengukuran arus fasa trafo 250 kVA

Arus fasa (A)		
I_R	I_S	I_T
39.8	41.5	42.7
34.3	41.7	42.7
34.6	41.4	43
55.7	72.1	86.1
58	71.6	98.4
64.9	72.5	97
73.9	102.2	125.8
73.1	100.6	125.9
70.7	100.9	125.4
113.3	109.1	131.1
120.7	109.8	132.6
120.5	109.1	132.3
121.8	131.7	134.9
121.9	132.1	136.3
121.6	120.9	133.7
124.8	134.3	127.1
124.8	134.9	126.4
125.3	134.6	126.2
123.6	120.6	151.1
123.9	115.1	149.3
123.3	115.9	148.4
131.8	124	147.8
130.1	123.6	146.9
130	123.2	146.3
125.8	140	140.1
131.5	139.3	137.8
122.7	139	137.6

efisiensi trafo distribusi yang diteliti lebih besar dari efisiensi trafo yang ditetapkan dalam SPLN 50. Untuk beban penuh dengan dengan faktor daya satu, $pf = 1$ efisiensi trafo dihitung lebih tinggi 0.335 % dibandingkan yang ditetapkan dalam SPLN 50. Untuk 75 % beban penuh dengan faktor daya satu, $pf = 1$, efisiensi trafo yang diteliti lebih tinggi 0.325 % . Untuk 50 % beban penuh dengan faktor daya satu, $pf = 1$, efisiensi trafo yang diteliti lebih tinggi 0.376 % , dan untuk 25 % beban penuh dengan faktor daya satu, $pf = 1$, efisiensi trafo yang diteliti lebih tinggi 0.601 % dari efisiensi yang ditetapkan dalam SPLN 50. Demikian juga untuk beban penuh dengan $pf = 0.8$ lag efisiensi trafo lebih tinggi 0.408 % dibandingkan yang ditetapkan dalam SPLN 50. Untuk beban lainnya dengan $pf = 0.8$ lag, lebih tinggi 0.404 % (untuk 75 % beban penuh), 0.462 % (untuk 50 % beban penuh), dan 0.745 % (untuk 25 % beban penuh) dari efisiensi yang ditetapkan dalam SPLN 50.

Pada tabel 3, dicantumkan hasil pengukuran arus fasa pada trafo yang diteliti, data arus diambil dengan bantuan

alat Tang ampere (Clamp Meter) 393 FC CAT III 1500 V True-rms Clamp Meter dengan iFlex merek FLUKE. Dalam hal ini, digunakan 27 sampel hasil pengukuran untuk untuk menghitung fluktuasi arus netral yang mengalir ke tanah. Arus netral dihitung menggunakan persamaan (7).

Pada gambar 4 diperlihatkan hasil persentase ketakseimbangan beban berdasarkan data arus fasa pada tabel 3, menggunakan metode pertama dan kedua. Pada gambar 5 dipelihatkan fluktuasi arus netral trafo untuk berbagai variasi ketakseimbangan beban.

Untuk arus fasa $I_R = 39.8 A$, $I_S = 41.5 A$, dan $I_T = 42.7 A$, diperoleh arus netral

$$I_N = 39.8 \angle -30^\circ + 41.5 \angle 210^\circ + 42.7 \angle 90^\circ$$

$$= -1.4722 + j 2.05$$

$$= 2.5239 \angle 125.68^\circ A$$

Ketakseimbangan beban menggunakan metode pertama diperoleh

Nilai [a b c] = [0.9629 1.004 1.0331]

$$I_{rt} = 41.333$$

Ketakseimbangan arus (%) =

$$\frac{(|0.9629 - 1| + |1.004 - 1| + |1.0331 - 1|)}{3} \times 100$$

$$= 2.4731$$

Ketakseimbangan beban menggunakan metode kedua diperoleh

$$I_{maks} = 42.7 A$$

Ketakseimbangan arus (%) = $\frac{42.7 - 41.333}{41.333} \times 100$

$$= 3.3065$$

Untuk arus fasa $I_R = 70.7 A$, $I_S = 100.9 A$, $I_T = 125.4 A$ diperoleh arus netral

$$I_N = 70.7 \angle -30^\circ + 100.9 \angle 210^\circ + 125.4 \angle 90^\circ$$

$$= -26.154 + j 39.6$$

$$= 47.457 \angle 123.44^\circ A$$

Ketakseimbangan beban menggunakan metode pertama diperoleh

Nilai [a b c] = [0.71414 1.0192 1.2667]

$$I_{rt} = 99$$

Ketakseimbangan arus (%) =

$$\frac{(|0.71414 - 1| + |1.0192 - 1| + |1.2667 - 1|)}{3} \times 100$$

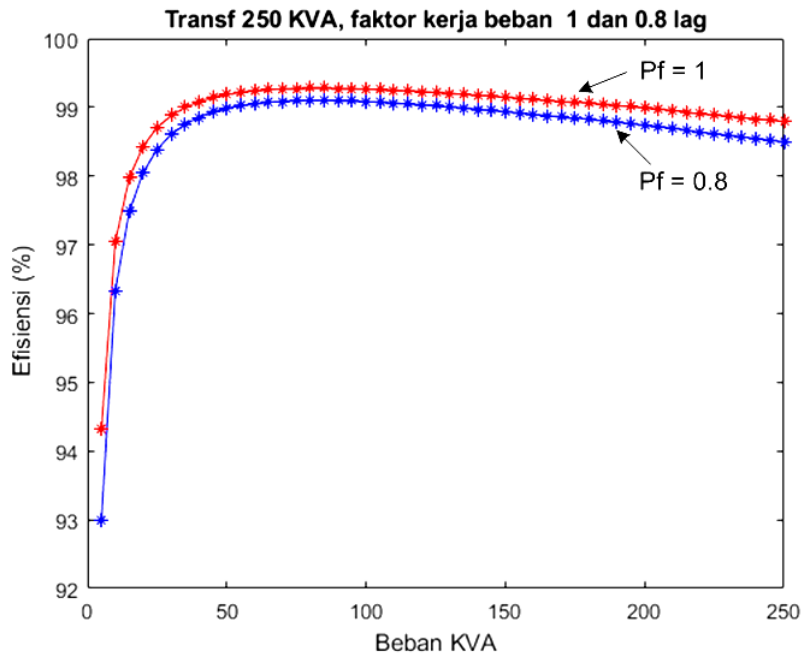
$$= 19.057$$

Ketakseimbangan beban menggunakan metode kedua diperoleh

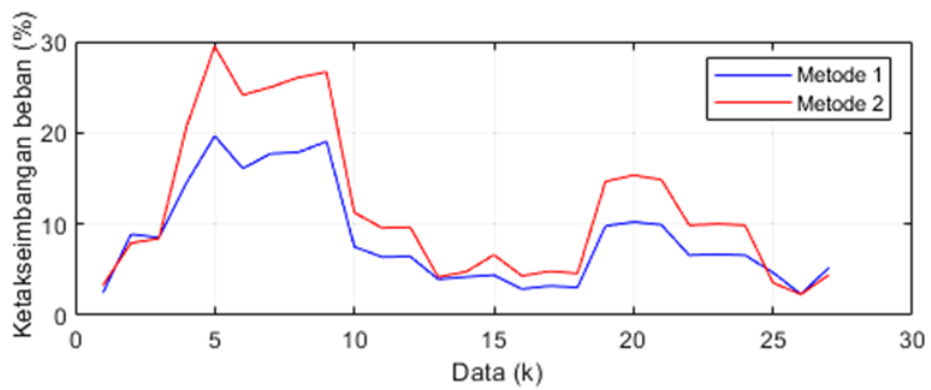
$$I_{maks} = 125.4 A$$

Ketakseimbangan arus (%) = $\frac{125.4 - 99}{99} \times 100$

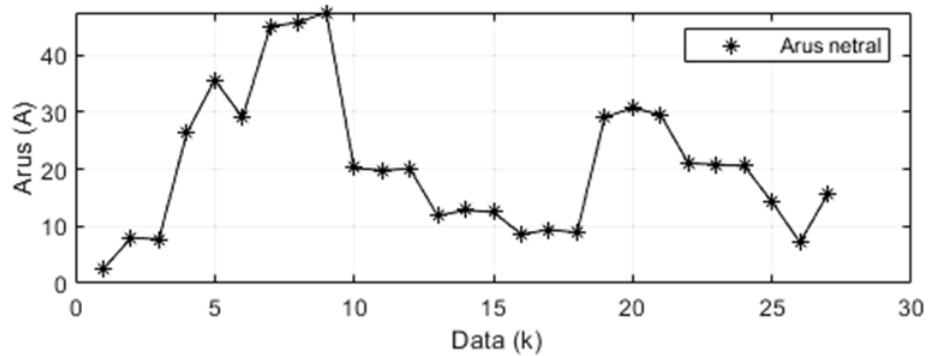
$$= 3.3065$$



Gambar 3. Efisiensi transformator distribusi 250 kVA



Gambar 4. Persentase ketaksimbangan beban menggunakan metode 1 dan 2



Gambar 5. Fluktuasi arus netral trafo akibat beban tidak seimbang

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan telaah efisiensi transformator distribusi 250 kVA, 3 fasa, 380/220 V, 50 Hz berdasarkan informasi data rugi tanpa beban dan berbeban yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya pada Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar, dan hasilnya adalah bahwa efisiensi transformator yang diteliti memenuhi syarat efisiensi sesuai yang ditetapkan dalam standar SPLN 50. Dalam penelaan ini ditinjau juga persentase ketak seimbangan beban atau persentase ketakseimbangan arus (*unbalance current*) menggunakan dua metode. Metode pertama menggunakan metode arus fasa rata-rata, dan formulasi kedua menggunakan metode deviasi arus fasa maksimum terhadap arus fasa rata-rata. Berdasarkan data pengukuran, dapat disimpulkan bahwa metode pertama memberi informasi persentase ketak seimbangan beban yang lebih kecil dibandingkan dengan metode kedua untuk arus netral yang sama. Dapat dikatakan bahwa semakin besar ketakseimbangan arus pada sisi sekunder trafo maka semakin besar pula arus netral yang mengalir dari titik netral trafo ke tanah. Fluktuasi arus netral dipelihatkan pada gambar 5, dan arus netral minimum didapat, $I_N = 2.5239 A$ untuk arus fasa $I_R = 39.8 A$, $I_S = 41.5 A$, dan $I_T = 42.7 A$. Sebaliknya arus netral maksimum didapat sebesar $I_N = 47.457 A$ untuk arus fasa $I_R = 70.7 A$, $I_S = 100.9 A$, dan $I_T = 125.4 A$.

REFERENSI

- [1] A.Kadir, Transformator, Penerbit, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1989
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Fluke (Des 18, 2025). [Online]. Available: <https://www.fluke.com/ja-jp/learn/blog/motors-drives-pumps-compressors/voltage-unbalance>
- [4] Hafid, Abdul, and Zainal Abidin. "SIMULASI PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TIGA-FASE KAPASITAS 250 KVA." *VERTEX ELEKTRO* 16.1 (2024): 24-29
- [5] IEE Std. 519-1992: Recommended Practice an Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [6] I. W. Suddhiarta, " Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugirugi Transformator Pada Trafo Distribusi Gardu Tiang SI 149 pada Penyulang Lebih ", *Jurnal Logic* Vol 11 No. 3, 2011
- [7] J. S. Setiadi, T. machmudsyah dan Y Isnanto," Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi", *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 6, No. 1, Maret 2006: 68 – 73
- [8] N. J. Hontong, M. Tuegeh dan L. S. Patras, " Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu," *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer* (2015), pp. 64-71
- [9] S. Said dan S. Bone et al., "Analisis Sistem Kelistrikan Pada Penyulang Makassar Town Square (MTOS)," *Jurnal ELEKTRIKA*, Mei 2017, pp. 42-50
- [10] Trafindo. Katalog Produk Tafo Distribusi SPLN D3. [Online]. Available: <https://www.trafoindonesia.com/pdf/all-product->
- [11] Zuhul, Dasar Tenaga Listrik., ITB Press. Bandung: 1991, pp. 16–18
- [12] William, D dan Stevenson,Jr. 1983. Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. Dialih bahasakan oleh Kamal Kadir. Bandung: Penerbit Erlangga
- [13] W. S. Hajriani FA et al., "Pengaruh Keidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 kV Penyulang Toddopuli", Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTI) 2018 Makassar, 17 September 2018
- [14] Zulkhulaifah, Zulkhulaifah, Bakhtiar Bakhtiar, and Hatma Rudito. "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasing Baru PT PLN (Persero) ULP Panakukkang Makassar." *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. 2021.

[15] Sampe, Aris. "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/380 V DI PENYULANG DPR KOTA." *Jurnal Sains dan Teknologi* 1.2 (2022): 106-123.