

## ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR *STEP DOWN* 13800/480 VOLT DI UNIT PENGANTONGAN PUPUK UREA PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

D. Fitriani<sup>1\*</sup>, M. Sari<sup>2</sup> dan Hermawati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang

<sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author:* diah.fitriani2002@gmail.com

**ABSTRAK:** Transformator yang digunakan untuk penyaluran tenaga listrik sering mengalami ketidakseimbangan beban akibat konsumsi listrik yang tidak merata. Ketidakseimbangan beban ini menyebabkan arus mengalir melalui netral transformator. Adanya arus yang mengalir di penghantar netral ini akan menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator. Dilakukan penggunaan model matematika untuk menganalisis masalah, seperti persamaan ketidakseimbangan beban transformator, efisiensi, dan rugi-rugi daya. Diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban akan berbanding lurus dengan besarnya arus netral yang muncul di penghantar transformator.

**Kata Kunci:** ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi-rugi, efisiensi

**ABSTRACT:** Transformers used to distribute electric power often experience load imbalance due to uneven electricity consumption. Due to the load imbalance, the transformer's neutral is being flooded with current. Losses brought on by neutral current in the transformer's neutral conductor will result from the neutral current's existence in the neutral conductor. Problems like transformer load imbalance equations, efficiency, and power losses are analyzed using mathematical models. It is found that if there is a load imbalance, it will be directly proportional to the magnitude of the neutral current that appears in the transformer conductor, which will also be large.

**Key Words:** load unbalance, neutral current, loss, efficiency

### PENDAHULUAN

Sektor industri telah berkembang dalam beberapa cara sepanjang periode globalisasi ini. Salah satunya adalah jumlah permintaan yang berfluktuasi dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, dunia industri harus menyesuaikan serta menyeimbangkan tingkatan dari permintaan konsumen dengan kapasitas yang mereka miliki untuk mengimbangi perubahan permintaan pasar. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang adalah perusahaan industri di Indonesia yang menjalankan tugas sebagai produsen pupuk nasional, bergerak dalam bidang perdagangan, penyediaan jasa, dan usaha lain yang berkaitan dengan bidang pupuk.

PT. Pupuk Sriwidjaja mengoperasikan pembangkit sendiri, yaitu STG (*Steam Turbine Generator*) dan GTG (*Gas Turbine Generator*) untuk distribusi listrik yang memerlukan pasokan listrik dan juga uap panas bertekanan tinggi pada pabrik produksi. PT. Pupuk Sriwidjaja memiliki 4 buah *Gas Turbin Generator* (GTG) yaitu GTG 1B dengan kapasitas 22,65 MW, GTG 2, 3, dan 4 dengan kapasitas 18,35 MW serta 1 buah *Steam Turbin Generator* (STG) yang memiliki kapasitas 35 MW (PUSRI, 2023). Tujuan dari PT. PUSRI mendirikan pembangkit listrik sendiri dan tidak

lagi bergantung pada pasokan listrik dari PLN yaitu untuk menjaga stabilitas produksi pupuk agar tetap selalu optimal. Fasilitas ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pabrik, serta mampu menyediakan sumber daya yang andal dan berkelanjutan untuk operasional perusahaan.

Penyaluran listrik yang efisien di PT. Pupuk Sriwidjaja melibatkan penggunaan berbagai peralatan listrik yang sangat penting seperti transformator, kabel penghantar, sakelar, pemutus sirkuit, dan perangkat lainnya. Salah satu komponen kelistrikan yaitu transformator sangat penting dalam penyaluran energi listrik ke peralatan listrik. Ketika energi listrik disalurkan, terkadang tidak seluruh energi yang dihasilkan dihasilkan karena adanya rugi-rugi pada transformator. Pemilihan transformator yang tidak efisien akan mengakibatkan ketidakseimbangan beban sehingga dapat menurunkan daya listrik. Pada umumnya distribusi beban terjadi secara merata, namun apabila beban dinyalakan pada waktu yang berbeda-beda akan terjadi ketidakseimbangan beban sehingga mempengaruhi penyediaan tenaga listrik. Arus akan mengalir pada penghantar netral trafo akibat adanya

ketidakseimbangan beban pada fasa R, S, dan T (Soleha et al., 2017).

Pembebanan pada transformator dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi transformator. Beban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan suhu pada transformator, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi atau bahkan kegagalan transformator. Di sisi lain, beban yang terlalu rendah dapat menyebabkan rendahnya efisiensi transformator karena tidak digunakan secara optimal (Nas, 2017). Rugi-rugi daya dimana arus mengalir pada penghantar netral disebabkan oleh ketidakseimbangan beban pada trafo. Penulis melakukan penelitian mengenai analisis ketidakseimbangan beban pada transformator di Unit Pengantongan Pupuk Urea (PPU) Bagian 1 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang guna mengoptimalkan pembebanan daya listrik agar tidak ada listrik yang terbuang sia-sia. Beban listrik yang tidak seimbang dapat mengakibatkan trafo memiliki efisiensi yang rendah. Faktor daya rendah dan pembebanan rendah yang disebabkan oleh penggunaan beban non-linier dapat berkontribusi terhadap rendahnya efisiensi transformator. Ketidakefisienan ini akan mempengaruhi pembiayaan dalam produksi sehingga akan mempengaruhi HPP (Harga Pokok Produksi).

Analisis terhadap ketidakseimbangan beban pada transformator perlu dilakukan untuk mengetahui apa saja penyebab ketidakseimbangan beban tersebut, mengetahui seberapa besar rugi-rugi yang terjadi, dan idealnya dapat memprediksi sehingga ketidakseimbangan beban tersebut dapat dikurangi.

Berdasarkan hal-hal tersebut, maka dilakukan kajian mengenai analisis ketidakseimbangan beban transformator *step down* 13800/480 Volt di Unit Pengantongan Pupuk Urea PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

#### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada kajian ini adalah dengan melakukan pengujian pada transformator *step down* 13800/480 volt yang berada di unit Pengantongan Pupuk Urea (PPU) bagian 1 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Terdapat beberapa tahap metode penelitian yang dilakukan yaitu pengambilan data dan perhitungan data, lalu diakhiri dengan analisis.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisis data yang telah didapat dari PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang bagian Pabrik Pengantongan Pupuk Urea 1 ini, perhitungan dilakukan

secara manual. Karena persamaan matematika yang diperlukan dapat diselesaikan secara manual tanpa memerlukan teknik khusus. Data pengukuran spesifikasi transformator *step down* 13800/480 volt dapat dilihat melalui tabel berikut:

Tabel 3.1 Data Transformator

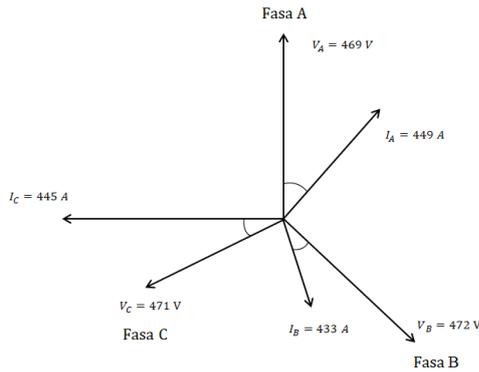
| Spesifikasi Transformator |   |
|---------------------------|---|
| Merek                     | TRAFINDO                                    |
| Tahun Pembuatan           | 2014  |
| Kapasitas                 | 3000 kVA                                    |
| Tegangan Primer           | 13800 V                                     |
| Tegangan Sekunder         | 480 V                                       |
| Frekuensi                 | 50 Hz                                       |
| Tag Number                | TR-02                                       |
| Tipe Pendinginan          | ONAN  |
| Grup Vektor               | Dyn 11                                      |
| Kabel Masuk               | N <sub>2</sub> XSEFGby 3x70 mm <sup>2</sup> |
| Kabel Keluar              | Busbar 4x100 mm <sup>2</sup>                |
| Cos $\phi$                | 0,67  |

Melalui pengukuran yang telah dilakukan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang bagian Pabrik Pengantongan Pupuk Urea 1 berikut data yang diperoleh (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Pengukuran Transformator

| Data Pengukuran Transaformator TR-02 |         |
|--------------------------------------|---------|
| Arus fasa R                          | : 449 A |
| Arus fasa S                          | : 433 A |
| Arus fasa T                          | : 445 A |
| Arus N                               | : 0,4 A |
| Tegangan fasa RS                     | : 469 V |
| Tegangan fasa RT                     | : 472 V |
| Tegangan fasa ST                     | : 471 V |

Dari data pengukuran yang tertera pada tabel 3.2, terlihat bahwa arus pada masing-masing fasa berbeda sehingga dapat dikatakan tidak seimbang. Gambar 3.1 menunjukkan fasor tegangan dan arus untuk trafo *step down* 13800/480 volt.



Gambar 3.1 Fasor tegangan dan arus

**Analisis Beban Transformator**

Dalam analisis beban diketahui terlebih dahulu arus beban penuh dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$I_F = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{3000000}{\sqrt{3} \times 480} = 3608,43 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{449 + 433 + 445}{3} = 442,3 \text{ A}$$

Sehingga persentase beban adalah :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_F} \times 100\% = \frac{442,3 \text{ A}}{3608,43 \text{ A}} \times 100\% = 4,09 \%$$

**Analisis Ketidakseimbangan Beban**

Dari data di atas terlihat bahwa beban tidak seimbang. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung besar kecilnya ketidakseimbangan beban yang terjadi yaitu:

$$I_R = a.I \text{ jadi } a = I_R / I_{rata-rata}$$

$$I_S = b.I \text{ jadi } b = I_S / I_{rata-rata}$$

$$I_T = c.I \text{ jadi } c = I_T / I_{rata-rata}$$

Maka, ketidakseimbangan beban adalah ;

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{449 \text{ A}}{442,3 \text{ A}} = 1,01$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{433 \text{ A}}{442,3 \text{ A}} = 0,97$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{445 \text{ A}}{442,3 \text{ A}} = 1,006$$

Rata-rata ketidakseimbangan

$$= \frac{a+b+c}{3} = \frac{1,01+0,97+1,006}{3} = 0,995$$

Sehingga persentase ketidakseimbangan beban adalah :

$$= \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{|1,01-1|+|0,97-1|+|1,006-1|}{3} \times 100\%$$

$$= 1,353 \%$$

**Analisis Rugi-rugi Daya**

Ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa R, S, dan T menyebabkan adanya arus yang mengalir pada penghantar netral transformator. Besar rugi daya yang terjadi pada transformator diakibatkan karena arus yang mengalir di netral transformator sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 0,4^2 \times 0,00168$$

$$= 0,00026 \text{ Watt} = 2,6 \times 10^{-7} \text{ KW}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \times \cos \phi = 3000 \times 0,67 = 2010 \text{ KW}$$

Jadi, persentase rugi-rugi daya adalah :

$$\frac{P_N}{P} \times 100 \% = \frac{2,6 \times 10^{-7}}{2010} \times 100 = 0,0000000129\%$$

**Analisis Efisiensi**

Untuk mengetahui besar efisiensi transformator dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$\frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi} - \text{rugi daya}} \times 100\%$$

$$P_{out} = (a + b + c) V.I. \cos \phi$$

$$P_{out} = (1,01 + 0,97 + 1,006) 480 \times 442,3 \times 0,67$$

$$P_{out} = 424739,62 \text{ Watt} = 424,73 \text{ KW}$$

**PEMBAHASAN**

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa transformator *step down 13,8 KV/ 480 V* pada pabrik PT. Pupuk Sriwidjaja bagian pengantongan pupuk urea dalam keadaan seimbang. Transformator TR-02 yang dilakukan pengukuran berfungsi untuk mensuplai beban ke mesin-mesin conveyor pada unit Pengantongan Pupuk Urea 1 (PPU 1) dan *Portal Scraper*. Pembebanan rata-rata pada transformator TR-02 pada saat pengukuran sebesar 442,3 A dengan persentase pembebanan sebesar 4,09%, pembebanan ini sangat kecil jika dibandingkan dengan kapasitas daya transformator yang mencapai 3608,43 A. Kecilnya hasil pengukuran pembebanan dapat disebabkan pada saat pengukuran terdapat beberapa beban sedang tidak digunakan.

Persentase ketidakseimbangan arus antar fasa pada transformator yang dilakukan perhitungan mendapatkan persentase ketidakseimbangan sebesar 1,35%. Persentase ketidakseimbangan beban pada

transformator menurut Surat Edaran PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 mengenai Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset (Load Reading and Profiling Persentase tentang ketidakseimbangan arus antar fasa) berada dalam kondisi baik yaitu tidak melebihi 10%. Berdasarkan acuan tersebut diketahui bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator *step down* 13800/480 Volt di unit Pengantongan Pupuk Urea 1 PT. Pupuk Sriwidjaja berada dalam kondisi baik.

Untuk mensuplai listrik ke beban, transformator distribusi harus beroperasi secara terus-menerus. Apabila terjadi gangguan pada transformator distribusi, trafo dapat mengalami kerusakan dan penyaluran energi listrik ke beban terputus. Gangguan pada transformator distribusi dapat disebabkan karena hubung singkat eksternal, kegagalan isolasi yang disebabkan oleh petir, masalah perlindungan, kerusakan tap changer, perawatan yang buruk, kesalahan operasional, penuaan trafo, gasket tarfo yang rusak atau bocor, kebocoran busing, dan gangguan lainnya (Exshy, 2013). Pada saat transformator mengalami ketidakseimbangan beban yang cukup besar akan berdampak pada peralatan listrik terutama yang sangat peka terhadap perubahan tegangan sehingga tidak bekerja dengan normal dan menyebabkan kerusakan pada transformator (Kongah et al., 2014). Hal ini dapat menyebabkan kerugian yang besar dari sisi materi, terutama terganggunya proses produksi dan efisiensi waktu, pada pabrik seperti PT Pupuk Sriwidjaja yang beroperasi selama 24 jam.

Pembebanan trafo yang tinggi mengakibatkan rugi daya trafo yang tinggi pula. Resistansi bahan konduktor yang digunakan dapat menyebabkan rugi-rugi daya dengan menciptakan resistansi, yang mencegah arus mengalir melalui konduktor. Salah satu penyebab rugi-rugi daya adalah panjang konduktor, semakin panjang kabel konduktor maka akan semakin banyak daya yang hilang. Secara ideal, daya listrik yang dihasilkan pada sisi sekunder transformator harus sama dengan daya listrik yang diserap pada sisi primer transformator. Namun dalam praktiknya, daya pada sisi primer dan daya pada sisi sekunder tidak sama. Hal ini disebut sebagai rugi daya transformator.

Keadaan tersebut menunjukkan adanya energi listrik yang tidak tersalurkan secara penuh dikarenakan adanya perubahan energi listrik menjadi energi yang tidak diharapkan seperti panas dan getaran pada bagian-bagian dari trafo itu sendiri. Arus akan mengalir pada netral trafo jika terjadi ketidakseimbangan beban antara fasa R, S, dan T pada sisi sekunder trafo. Adanya arus yang mengalir menyebabkan rugi-rugi. Rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator *step down 13800/480V* yang

dilakukan pengukuran hampir mendekati 0 dengan persentase rugi-rugi daya sebesar 0,0000000129%. Merujuk pada Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO) No: 045.K/0594/DIR/1997, tentang spesifikasi transformator distribusi fase-tiga menetapkan acuan rugi-rugi daya pada transformator distribusi ditetapkan bahwa standar rugi daya pada trafo distribusi sebesar  $\leq 2\%$ . Maka dapat diketahui bahwa rugi-rugi daya yang terjadi pada netral transformator tidak melebihi batas standar yang ditetapkan. Dengan penetapan ini bisa disimpulkan bahwa kondisi transformator *step down 13800/480 V* di unit Pengantongan Pupuk Urea (PPU) PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang masih layak digunakan.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan uraian kajian di atas dapat disimpulkan bahwa beban transformator *step down 13800/480 V* pada pengantongan pupuk urea pada PT Pupuk Sriwidjaja dalam keadaan seimbang. Namun, beban yang digunakan pada transformator masih terlalu rendah, sehingga efisiensi penggunaan transformator rendah. Beban yang kecil ini disebabkan pada saat pengukuran beberapa beban sedang tidak digunakan. Pembebanan pada transformator mempengaruhi rugi-rugi daya transformator, semakin besar pembebanan maka mengakibatkan rugi-rugi daya transformator yang tinggi pula. Rugi-rugi daya transformator *step down 13800/480 V* pada pengantongan pupuk urea pada PT Pupuk Sriwidjaja berada dalam batas standar. Dengan penetapan ini bisa disimpulkan bahwa kondisi transformator masih layak digunakan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Operasi dan Pemeliharaan II, Bagian Unit Pengantongan Pupuk Urea (PPU) PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Exshy, J. (2013). *STUDI ANALISIS GANGGUAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV Di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Karawang KARAWANG JAWA BARAT*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/67880#:~:text=Gangguan pada transformator distribusi dapat,bushing dan penyebab gangguan lainnya.>
- Kongah, D., Sarjan, M., & Mukhlis, B. (2014).

*ANALISIS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR GARDU SELATAN KAMPUS UNIVERSITAS TADULAKO. 1(1), 11–19.*

Nas, I. (2017). ANALISIS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) RAYON JENEPONTO. *Teknik Elektro*.

PUSRI, P. (2023). *Profil Perusahaan*. <https://www.pusri.co.id/id>

Soleha, M., Dr. I Made Ginarsa, ST., M., & Abdul Natsir, ST., M. (2017). *Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Penyulang Ampenan Di PT.PLN (Persero) UP3 Mataram*. 146–167.