

ANALISA RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Emma Sukma Wardoyo¹, Afner S. Sinaga², Ekawati Ohee³, Moh. Arie Reza⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Indonesia
Email: emmawardoyo@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima Okt 02, 2023
Direvisi Okt 07, 2023
Disetujui Okt 15, 2023

ABSTRACT

The purpose of writing this Final Project is to calculate the imbalance and power loss due to neutral current at the distribution substation along Maleo ULP Jayapura. The calculation is done during Outside Peak Load Time (LWBP) and Peak Load Time (WBP). The results showed that the largest percentage of load imbalance during LWBP was 29.63% at transformer JPR193, namely at Marthen Indey Hospital. While during WBP it is 28.74% at transformer JPR154 (Jln. Matahari Ampera). The largest power loss during LWBP is 6273.323 watts at transformer JPR276 (Ampera-insert JPR117). The total power loss due to neutral current is 515.889 kW. While at the time of WBP amounting to 7742,240 watts or 77.42 kW at Substation JPR119 (Front of Varian Store). The total power loss due to neutral current is 634.479 Kw.

Keywords: Power Loss, Imbalance, Maleo Substation

ABSTRAK

Tujuan penulisan Proyek Akhir ini adalah menghitung ketidakseimbangan dan rugi daya akibat arus netral pada gardu distribusi sepanjang penyulang Maleo ULP Jayapura. Perhitungan dilakukan pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP). Hasil Penelitian memperlihatkan Persentase ketidakseimbangan beban saat LWBP yang paling besar adalah 29,63% pada trafo JPR193 yaitu di RSUD Marthen Indey. Sedangkan saat WBP sebesar 28,74% pada trafo JPR154 (Jln. Matahari Ampera). Untuk rugi daya terbesar saat LWBP adalah 6273,323 watt pada trafo JPR276 (Ampera-Sisipan JPR117). Total Rugi Daya akibat arus netral adalah 515,889 kW. Sedangkan pada saat WBP sebesar 7742,240 watt atau 77,42 kW di Gardu JPR119 (Depan Toko Varian). Total Rugi Daya akibat arus netral adalah 634,479 kW.

Kata Kunci: Rugi-Rugi Daya, Ketidakseimbangan, Penyulang Maleo

Penulis Korespondensi:

Emma Sukma Wardoyo,
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Cenderawasih,
Email: penulis_korespondensi@address.com

1. PENDAHULUAN

Dalam menghadapi tuntutan kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat, PT. PLN (Persero) sebagai penyedia utama energi listrik di Indonesia telah berupaya maksimal untuk menjaga kontinuitas dan keandalan pasokan energi. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah ketidakseimbangan beban pada gardu-gardu distribusi 20 kV/380 V. Perubahan dinamika kebutuhan energi masyarakat

seringkali menyebabkan ketidakseimbangan ini, mengakibatkan dampak serius terhadap penyediaan tenaga listrik.

Ketidakeimbangan beban dan arus antar fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) pada sistem tiga fasa menjadi isu yang umumnya ditemui oleh peneliti dan teknisi sistem tenaga listrik. Dampak dari ketidakseimbangan ini tidak hanya mencakup kerugian daya pada jaringan distribusi, tetapi juga dapat membatasi kemampuan pemuatan

transformator distribusi di bawah nilai nominalnya.

PT. PLN (Persero) Area Jayapura, sebagai penyedia tenaga listrik di wilayah Jayapura dan sekitarnya, menghadapi situasi serupa. Dengan memiliki sejumlah transformator distribusi di penyulang Maleo, termasuk yang memiliki kapasitas terbesar, perusahaan ini dihadapkan pada perlunya analisis mendalam terkait ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

Maka dari itu, penulis memilih untuk mengambil topik Penelitian dengan judul "Analisa Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi di Penyulang Maleo Jayapura." Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi selama Waktu Beban Puncak (WBP) dan di Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), serta menghitung rugi-rugi daya yang diakibatkannya pada penghantar netral.

Dengan merumuskan permasalahan mengenai tingkat ketidakseimbangan beban dan dampak rugi daya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap kondisi operasional transformator distribusi di penyulang Maleo. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi PT. PLN Area Jayapura dalam pengelolaan dan perawatan transformator distribusi, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengetahuan di bidang ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dimulai dengan menghitung arus beban pada transformator distribusi 20 kV. Selanjutnya, dilakukan perhitungan konstanta arus Ia, Ib, dan Ic. Hasil perhitungan ini akan digunakan sebagai parameter untuk menganalisis rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada transformator.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

A. Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh transformator distribusi sesuai data sebagai berikut:

Untuk gardu no.1 dengan nomor JPR001 memiliki Daya terpasang (S) 400 kVA dengan Tegangan Sekunder 400 V maka arus beban penuhnya menjadi:

$$I_{FL} = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$
$$I_{FL} = 577,35 \text{ A}$$

B. Perhitungan Pembebanan Transformator

Untuk menghitung persentase pembebanan transformator distribusi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \text{ dimana } I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

Sehingga untuk menghitung pembebanan transformator distribusi sesuai data hasil pengukuran arus fasa dan netral penyulang Maleo.

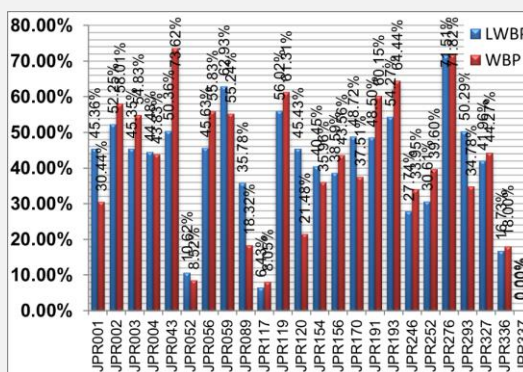
Untuk gardu no.1 dengan nomor JPR001 memiliki arus beban penuh sebesar 577,35 A. Sedangkan,

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{287 + 338 + 281}{3}$$
$$I_{rata-rata} = 261 \text{ A}$$

Sehingga pembebanan transformator distribusi adalah:

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{261}{577,35} \times 100\%$$

$$\% \text{ Pembebanan} = 45,20\%$$



Gambar 1. Grafik Perbandingan Pembebanan Transformator (%) Saat LWBP dan WBP.

Grafik memperlihatkan bahwa ketidakseimbangan beban terbesar cenderung terjadi saat Waktu Beban Puncak (WBP) kecuali pada trafo JPR001 (Jln Nindya Karya Belakang Kantor ULP Jayapura), JPR004 (RS Aryoko), dan JPR052 (Depan Bank BTN Jayapura), JPR120 (Depan Bank Mandiri Kanwil), JPR154 (Jln Matahari Ampera), JPR170 (Kalam Kudus), dan JPR293 (Depan Kanwil Mandiri-Sisipan JPR117).

C. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

$$I_{unb}(\%) = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100 \% \dots\dots (2.10)$$

dimana:

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata}}$$

$$b = \frac{IS}{I_{rata-rata}}$$

$$c = \frac{IT}{I_{rata-rata}}$$

Sehingga untuk menghitung ketidakseimbangan beban sesuai data sebagai berikut:

Untuk gardu no.1 dengan nomor JPR001 memiliki arus rata-rata sebesar 261 A dengan IR sebesar 194 A, IS sebesar 261 A dan IT sebesar

276 A. Maka konstanta a, b, c transformator distribusi tersebut adalah:

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{194}{261}$$

$$a = 0,758$$

$$b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{276}{261}$$

$$b = 1,054$$

$$c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{311}{276}$$

$$c = 1,188$$

setelah konstanta a, b, c diperoleh maka ketidakseimbangan arus pada setiap transformator distribusi di sepanjang penyulang Maleo pada gardu JPR001 adalah:

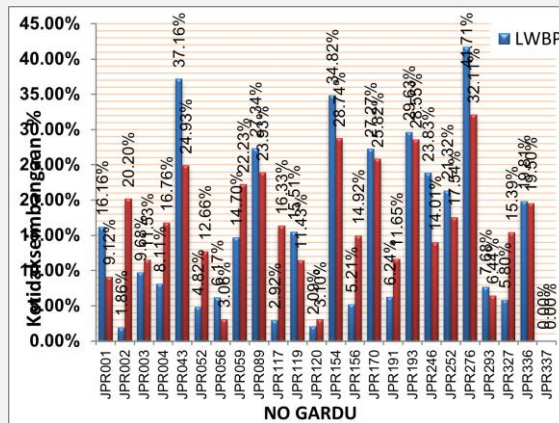
$$\% \text{ ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$\dots\dots\dots (2.10)$$

$$\% \text{ ketidakseimbangan} = \frac{\{|0,758-1| + |1,054-1| + |1,188-1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,485}{3} \times 100 \%$$

$$= 16,16 \%$$



Gambar 2. Grafik Persentase Ketidakseimbangan Beban Saat LWBP dan WBP Penyulang Maleo

Grafik memperlihatkan bahwa ketidakseimbangan beban terbesar cenderung terjadi saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) kecuali pada trafo JPR002 (Setia Pura), JPR003 (Kodam Lama), dan JPR004 (RS Aryoko), JPR052 (Depan Bank BTN Jayapura), JPR059 (Depan BTN), JPR120 (Depan Bank Mandiri Kanwil), JPR191 (Depan Masjid Raya Kloofkamp), JPR156 (SD Persit Kloofkamp), JPR191 (Depan Masjid Raya Kloofkamp), dan JPR327 (Jembatan Ampera-Sisipan JPR117) yang berarti antra gardu yang disebutkan arus fasa R, S, dan T tidak memiliki selisih terlalu jauh.

D. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Akibat adanya arus yang mengalir pada netral transformator distribusi maka akan timbul rugi daya (*losses*). Perhitungan rugi daya dilakukan pada saat Waktu Beban Puncak dan Luar Waktu Beban Puncak. Adapun penghantar netral yang digunakan adalah penghantar LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*) 1x70 mm², dengan demikian nilai resistansinya sesuai tabel 2.2 sebesar 0,443 Ω. Perhitungan rugi daya menggunakan

persamaan (2.7) maka perhitungan rugi daya saat LWBP dan WBP adalah sebagai berikut: Untuk gardu no.1 dengan nomor JPR001 memiliki arus netral (IN) saat LWBP sebesar 101 A dan saat WBP sebesar 250 A.

Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

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

$$P_N = 101^2 \times 0,443$$

$$P_N = 4545,929 \text{ watt}$$

Daya aktif keluaran transformator (P_{output}) adalah:

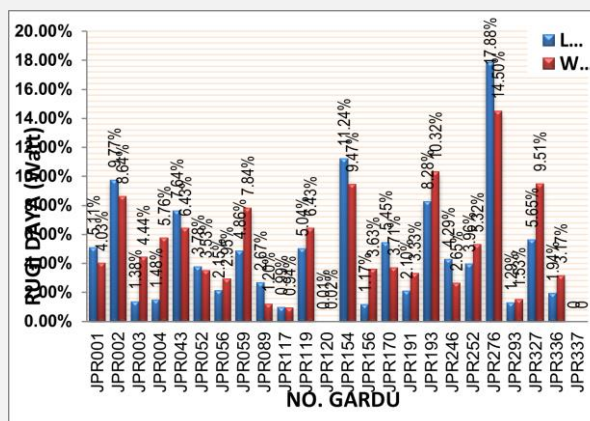
$$P_{output} = V_{sekunder} \times I_{rata-rata} \times \cos \theta$$

$$P_{output} = 400 \times 261 \times 0,85$$

$$P_{output} = 89046 \text{ watt}$$

Sehingga persentase rugi (*losses*) akibat arus netral terhadap daya keluaran trafo saat LWBP adalah:

$$\% \text{ rugi} = \frac{4545,929}{89046} \times 100\% = 5,11 \%$$



Gambar 3. Grafik Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban Saat LWBP dan WBP Penyulang Maleo

Grafik memperlihatkan bahwa rugi daya terbesar cenderung terjadi saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) kecuali pada trafo JPR003 (Kodam Lama), JPR004 (RS Aryoko), JPR056 (Jln Gurabesi), JPR156 (SD Persit Kloofkamp), JPR191 (Depan Masjid Raya Kloofkamp), JPR293 (Depan Kanwil Mandiri-Sisipan JPR117), dan JPR336 (Depan Masjid Raya) yang disebabkan arus fasa antara R, S dan T memiliki selisih yang tidak terlalu jauh di bandingkan dengan gardu yang lain.

3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pembebanan transformator pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), pembebanan rata-rata transformator masih berada di bawah 80%. Namun, Transformator JPR276 100 kVA (Ampera-Sisipan-JPR117) mengalami pembebanan yang melebihi kapasitas sebesar 71,51%.

Dalam perhitungan ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di sepanjang penyulang Maleo selama Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), persentase ketidakseimbangan beban bervariasi antara 1,86% hingga 41,71%. Terdapat enam transformator distribusi yang tidak memenuhi standar SPLN, yaitu JPR043 (Jembatan Ampera), JPR089 (Kantor Dolog), JPR154 (Jln Matahari Ampera), JPR170 (Kalam Kudus), JPR193 (RSUD Marthen Indey), dan JPR276 (Ampera-Sisipan JPR117).

Pada saat Waktu Beban Puncak (WBP), persentase ketidakseimbangan beban berkisar antara 3,06% hingga 32,11%. Tiga transformator distribusi, yaitu JPR154 (Jln Matahari Ampera), JPR193 (RSUD Marthen Indey), dan JPR276 (Ampera-Sisipan JPR117), tidak memenuhi standar SPLN.

Akibat adanya arus yang mengalir pada netral transformator distribusi, terjadi rugi daya (losses). Rugi daya penghantar akibat ketidakseimbangan beban saat LWBP terbesar tercatat pada trafo JPR276 (Ampera-Sisipan JPR117) sebesar 62,733 kW, dengan total rugi daya akibat arus netral mencapai 515,889 kW. Saat WBP, rugi daya terbesar terjadi di Gardu JPR119 (Depan Toko Varian) sebesar 77,42 kW, dengan total rugi daya akibat arus netral mencapai 634,479 kW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi sepanjang penyulang Maleo, ditemukan beberapa temuan

signifikan. Pada kondisi luar waktu beban puncak (LWBP), persentase ketidakseimbangan beban tertinggi tercatat sebesar 29,63% pada transformator JPR193 di RSUD Marthen Indey, sementara persentase terendah adalah 1,86% pada transformator JPR002 di Jalan Setia Pura. Sebanyak 25% dari total transformator distribusi tidak memenuhi standar SPLN, termasuk JPR043 (Jembatan Ampera), JPR089 (Kantor Dolog), JPR154 (Jln. Matahari Ampera), JPR170 (Kalam Kudus), JPR193 (RSUD Marthen Indey), dan JPR276 (Ampera-Sisipan-JPR117). Pada waktu beban puncak (WBP), persentase ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada transformator JPR154 (Jln. Matahari Ampera) sebesar 28,74%, sedangkan yang terendah adalah pada transformator JPR056 250 kVA (Jln Gurabesi) sebesar 3,06%. Transformator distribusi yang tidak memenuhi standar SPLN mencapai 25%, melibatkan JPR154 (Jln Matahari Ampera), JPR170 (Kalam Kudus), JPR193 (RSUD Marten Indey), dan JPR276 (Ampera-Sisipan JPR117). Selain itu, kerugian daya penghantar akibat ketidakseimbangan beban juga terlihat pada kondisi LWBP dan WBP, dengan total rugi daya akibat arus netral masing-masing sebesar 515,889 kW dan 634,479 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jayabadi, D. S. W., et al. (2016). Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 GI Sronдол Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan Etap 12.6.0. *Jurnal TRANSIENT*, 5(4), 425-431.
- [2] Setiadi, J. S., et al. (2006). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1), 68-73.
- [3] PT. PLN (Persero). (2010). *Buku I –Kriteria Disain Enjineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta.
- [4] PT. PLN (Persero). (2012). *SPLN D5.004-1:2012 Tentang Regulasi Harmonisa, Flicker, dan Ketidakseimbangan Tegangan*. Jakarta.
- [5] Sukmadi, T., & Winardi, B. (2009). Perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya (Studi Kasus Pada PT. PLN UPJ Slawi). *Jurnal Transmisi*, 11(1), 47-52.
- [6] Wa Ode Sitti Hajriani F.A., et al. (2018). Evaluasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 kV Penyulang

Toddopuli. Prosiding SNTETI, 1-10.
Makassar.

- [7] Simamora, Y., & Tobing, P.S.M.L. (2014). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah. Jurnal SINGUDA ENSIKOM, 7(3), 137-142.