

Studi Pemerataan Beban Transformator Tidak Seimbang Pada Gardu Distribusi BR 114 Di PT. PLN (PERSERO) ULP Medan Baru

Study of Unbalanced Transformer Load Distribution at BR 114 Distribution Substation at PT. PLN (PERSERO) ULP Medan Baru

Oleh :

Ruth Nita Sidabutar

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1 Kampus USU 20155 Medan
ruthnitasidabutar@gmail.com

Abstract

Unbalance in the load on the distribution line of electricity always occurs, especially in the burden of household customers who utilize single-phase electric power. As a result of the load imbalance, a neutral current appears in the transformer. The neutral current flowing in the transformer causes power losses (losses) in the Low Voltage Network (JTR). To overcome this, it is necessary to carry out maintenance on the Low Voltage Network (JTR) by distributing the load. Load equalization is an important and routine work that never ends, because the transformer cannot be loaded optimally if one of its phases has reached the specified current limit, while the current in the other phase is still low. Load equalization is done by moving the load from a phase that has a larger load to a phase that has a small load. This load distribution aims to reduce the amount of neutral current which will certainly reduce power losses in the low voltage network and reduce PLN losses from the economic side and prevent single-phase overload disturbances on the transformer. After analyzing the distribution transformer BR 114, the losses before the load distribution, after the first load equalization and after the second load distribution are 88.144%, respectively; 19.6% ; 7.3%. The power losses before load distribution, after the first load distribution and after the second load distribution are 10.8746 kW, respectively; 0.8932 kW ; 0.141 kW. To find out more about load distribution, the author analyzes based on existing data.

Keywords : Load Distribution, Load Imbalance, Neutral Current, Power Losses

Abstrak

Ketidakeimbangan beban pada saluran distribusi tenaga listrik selalu terjadi, khususnya pada beban pelanggan rumah tangga yang memanfaatkan tenaga listrik satu fasa. Akibat ketidakeimbangan beban tersebut muncullah arus netral pada transformator. Arus netral yang mengalir pada transformator menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*) pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan pemeliharaan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan melakukan pemerataan beban. Pemerataan beban merupakan pekerjaan penting dan rutin yang tidak ada habisnya, karna transformator tidak dapat dibebani secara optimal apabila salah satu fasanya telah mencapai batas arus yang ditentukan, sedangkan arus pada fasa yang lain masih rendah. Pemerataan beban dilakukan dengan memindahkan beban dari fasa yang memiliki beban lebih besar ke fasa yang memiliki beban kecil. Pemerataan beban ini bertujuan untuk memperkecil jumlah arus netral yang tentunya akan mengurangi rugi-rugi daya pada pada jaringan tegangan rendah dan mengurangi kerugian PLN dari sisi ekonomis serta mencegah gangguan beban lebih satu fasa pada transformator. Setelah dianalisis pada transformator distribusi BR 114 diperoleh rugi-rugi sebelum pemerataan beban, setelah pemerataan beban pertama dan setelah pemerataan beban kedua masing - masing adalah 88,144 % ; 19,6 % ; 7,3 % . Rugi-rugi daya sebelum pemerataan beban, setelah pemerataan beban pertama dan setelah pemerataan beban kedua masing-masing adalah 10,8746 kW ; 0,8932 kW ; 0,141 kW. Untuk mengetahui lebih dalam mengenai pemerataan beban, penulis menganalisis berdasarkan data yang ada.

Kata Kunci : Pemerataan Beban, Ketidakeimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-Rugi Daya

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan umum yang dihadapi PT. PLN (Persero) dalam mendistribusikan tenaga listrik kepada pelanggan adalah rugi-rugi daya (*losses*). Distribusi energi listrik dari pusat suplai menuju pusat beban atau pelanggan jarak jauh menyebabkan terjadinya rugi daya sepanjang jaringan distribusi, mengurangi keandalan mutu distribusi energi listrik di hulu jaringan distribusi.

Penyebab lain dari rugi-rugi daya adalah ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi. Beban yang tidak seimbang menghasilkan aliran arus netral yang berdampak pada kerugian daya (*losses*) di Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Kerugian daya adalah daya yang hilang selama distribusi energi listrik, yang sebenarnya dihasilkan tetapi tidak terjual.

Idealnya, beban dalam sistem harus merata untuk menghindari aliran arus netral yang dapat menyebabkan kerugian daya pada penghantar netral. Namun, dalam praktiknya, selalu terdapat ketidakseimbangan beban antara fasa R, S, dan T. Hal ini bisa disebabkan oleh pertumbuhan beban per fasa yang tidak merata, sambungan rumah yang berurutan dari satu fasa, dan penggunaan beban yang tidak sinkron dalam waktu.

Ketidakseimbangan beban juga dapat terjadi ketika pelanggan berhenti berlangganan listrik PLN, mengakibatkan ketidakseimbangan beban antar fasa dan perubahan kondisi beban. Kerugian daya yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban pada JTR berdampak pada efisiensi distribusi tenaga listrik oleh PLN. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeliharaan rutin pada jaringan tegangan rendah dengan melakukan pemerataan beban untuk mengurangi kerugian daya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam laporan ini adalah :

1. Bagaimana proses pemerataan beban pada transformator di gardu distribusi?
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban transformator terhadap arus netral dan kerugian daya (*losses*)?
3. Bagaimana dampak pemerataan beban terhadap kerugian daya (*losses*) akibat arus netral yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban?
4. Berapa total energi yang diselamatkan dan kerugian finansial akibat kerugian daya dalam proses pemerataan beban pada transformator distribusi BR 114?

1.3 Batasan Masalah

Laporan ini membatasi pembahasan pada :

1. Proses pemerataan beban transformator di gardu BR 114 berdasarkan pengukuran Waktu Beban Puncak (WBP).
2. Perhitungan kerugian daya pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan beban.
3. Perhitungan jumlah energi yang diselamatkan dan kerugian finansial akibat kerugian daya dalam proses pemerataan beban pada transformator distribusi BR 114.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari laporan tugas akhir ini adalah :

1. Memahami cara PT. PLN ULP Medan Baru mengatasi ketidakseimbangan beban transformator di gardu BR 114.

2. Menentukan besarnya kerugian daya (*losses*) pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan beban di gardu distribusi BR 114 sebelum dan sesudah pemerataan beban.
3. Menghitung total energi yang diselamatkan dan kerugian finansial akibat kerugian daya pada penghantar netral yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban di gardu distribusi BR 114 sebelum dan sesudah pemerataan beban.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat adanya laporan tugas akhir ini adalah menghitung kerugian pendapatan akibat kerugian daya, membandingkan perhitungan teoritis dengan data lapangan. Serta menjadi referensi untuk mengatasi kerugian daya pada jaringan distribusi tegangan rendah akibat ketidakseimbangan beban pada transformator melalui pemerataan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. **BAB 1 Pendahuluan:** Latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
2. **BAB 2 Tinjauan Pustaka:** Kajian pustaka dan landasan teori yang mendukung identifikasi masalah.
3. **BAB 3 Studi Kasus dan Pengumpulan Data:** Penggambaran permasalahan, pengumpulan data dari pemerataan beban transformator di PT. PLN (Persero) ULP Medan Baru.
4. **BAB 4 Hasil dan Pembahasan:** Analisis hasil data dari pemerataan beban transformator.
5. **BAB 5 Kesimpulan dan Saran:** Kesimpulan dari seluruh pengerjaan tugas akhir ini dan saran terkait analisis data sebelum dan sesudah pemerataan beban.

2. TINJAUAN TEORITIS

2.1 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan latar belakang tugas akhir yang diambil, terlebih dahulu peneliti melakukan studi pustaka pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya guna menentukan batasan-batasan masalah yang berkaitan erat dengan topik tugas akhir. Referensi ini kemudian akan digunakan untuk mempertimbangkan permasalahan-permasalahan apa saja yang berhubungan dengan topik tugas akhir. Adapun beberapa referensi tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut : Menurut Ir. Markoni, S.H., M.T. (2017) dalam bukunya yang berjudul “Teori Dasar Teknik Tenaga Listrik Edisi 2” mengatakan pada sisi tegangan rendah yang mayoritas pelanggannya adalah satu fasa, sedangkan transformator distribusi menggunakan fasa tiga, sehingga terjadi pembagian beban yang pada awalnya seimbang tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan beban, beliau juga mengatakan susut jaringan distribusi dalam sistem ketenagalistrikan merupakan kehilangan kWh energi yang tidak dapat dimanfaatkan, sehingga hal ini merupakan salah satu bentuk pemborosan energi serta menurunkan efisiensi. Untuk menurunkan susut jaringan distribusi dan menaikkan efisiensi, salah satunya perlu dilakukan penyeimbangan beban setelah pengukuran beban pada gardu distribusi, secara periodik pada saat beban puncak untuk mengetahui pembebanan seimbang maupun beban tidak seimbang. Penelitian yang dilakukan oleh W. Susongko, I N. Setiawan, I N. Budiastira (2016) tentang “Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder Gardu Distribusi DS 0587 di PT. PLN (Persero) Disrtibusi Bali Rayon Denpasar, pada penelitian ini peneliti melakukan analisis rugi-rugi daya (*losses*) keadaan beban seimbang dan keadaan beban tidak seimbang pada waktu siang dan malam hari di JTR dan SR gardu distribusi DS 0587. Berdasarkan hasil analisis peneliti, 6 adanya ketidakseimbangan beban pada transformator dan JTR DS 0587 telah menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*). Penelitian yang dilakukan oleh Julius Sentosa Setiadji, Tabrani Machmudsyah, Yanuar Isnanto (2006) tentang “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi”, diperoleh bahwa akibat ketidakseimbangan beban tersebut

akan menagilir arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah, semakin besar ketidakseimbangan beban maka arus netral yang muncul juga semakin besar dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tiga Fasa Distribusi Sekunder

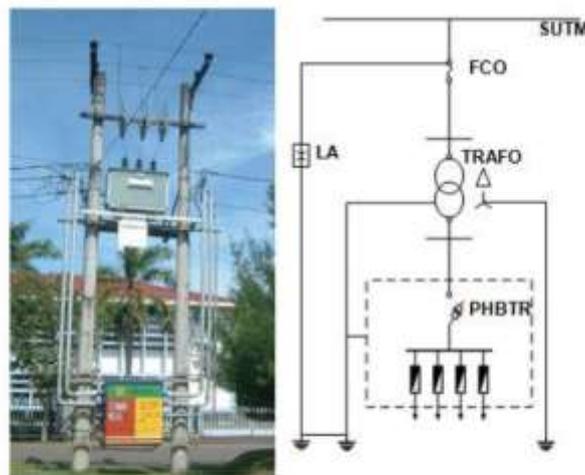
Rangkaian multi fasa adalah rangkaian listrik AC dengan lebih dari satu fasa, seperti rangkaian tiga fasa yang umumnya digunakan di saluran distribusi di Indonesia, dengan dua jenis koneksi antar fasa, yaitu rangkaian segitiga dan rangkaian bintang, yang pada distribusi sekunder di Indonesia menggunakan rangkaian bintang dengan satu titik netral.

2.2.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah bangunan yang mengandung Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), transformator distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) yang berfungsi sebagai tempat pengumpul, pembagi, dan penyalur energi listrik dengan optimalisasi biaya berdasarkan penggunaan, jenis konstruksi, dan peraturan daerah setempat, yang dapat berupa pasang dalam (seperti gardu beton) atau pasang luar (seperti gardu tiang).

2.2.3 Standar Konstuksi Gardu Pasang Luar/ Gardu Portal

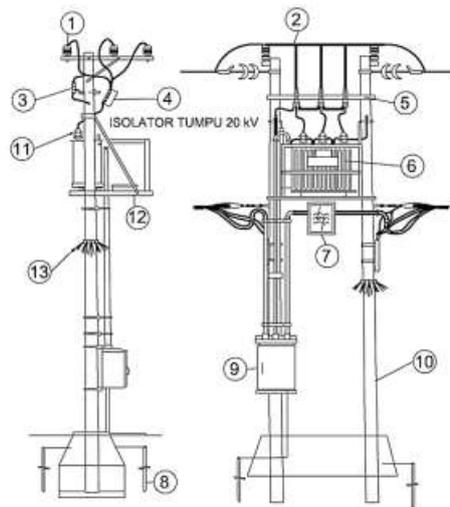
Gardu portal adalah gardu listrik tipe terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Umumnya Gardu Portal digunakan untuk melayani pelanggan umum, walaupun ada juga yang digunakan untuk melayani pelanggan TR (khusus). Penempatan Gardu ini biasanya di lingkungan umum (perkampungan / perkotaan) dimana banyak aktivitas yang terjadi disekitarnya, Sehingga pengamanan terhadap risiko bahaya harus menjadi perhatian serius.



Gambar 2.1 Gardu portal dan bagan satu garis
(Sumber : Buku 4 PLN, Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Listrik, 2010)

Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya tiga meter diatas tanah dan ditambahkan *platform* sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel / PHBTR pada bagian bawah. Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman. Pengaman Lebur *Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur *link*

type expulsion) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Adapun secara rinci konstruksi Gardu portal seperti gambar berikut :



Gambar 2.2 Monogram gardu portal dengan PHB TR dua jurusan
(Sumber : Buku 4 PLN, Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Listrik, 2010)

2.2.4 Keseimbangan Beban

Beban fasa seimbang merupakan beban dimana arus yang mengalir pada bebanbeban simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan simetris. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara perfasa saja, jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada setiap fasa, sedangkan yang sebenarnya beban tersebut tidak seimbang. Transformator dikatakan dalam keadaan seimbang apabila dalam suatu keadaan dimana Ketiga vektor arus dan tegangan adalah sama besar dan ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

2.2.4 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan ketidakseimbangan beban adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, Ada beberapa hal yang terjadi apabila transformator mengalami keadaan tidak seimbang, yakni :

1. Vektor arus pada fasa R, S dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lainnya tidak membentuk 120° .
2. Sudut pada vektor antar fasa sudah sama besar membentuk 120° namun nilai vektor pada fasa R, S dan T terdapat perbedaan.
3. Nilai vektor pada fasa R, S dan T terdapat perbedaan dan sudut pada vector antar fasa tidak membentuk 120° .

Terdapat perbedaan nilai pada masing-masing fasa dan apabila tiap fasa dijumlahkan hasilnya tidak bernilai nol. Selain itu, sudut antar fasanya juga tidak membentuk 120° . Keadaan ini akan memunculkan arus netral (I_N) dan besar dari arus netral ini dipengaruhi dari faktor ketidakseimbangannya. Semakin besar perbedaan arus setiap fasa maka akan semakin besar pula arus yang mengalir pada penghantar netral.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pengumpulan Data

Dalam pembuatan laporan tugas akhir ini, pengambilan data dilakukan pada gardu distribusi dengan kode BR 114 yang berada di penyulang LS 07 PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Medan Baru. Studi dilakukan selama 6 bulan pada saat pelaksanaan magang PMMB PLN 2021 yang dimulai pada 26 Agustus 2021 sampai dengan 31 Januari 2022. Pengukuran beban trafo dan pemerataan beban pada gardu distribusi BR 114 dilaksanakan pada bulan Januari 2022.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode yang dipakai untuk mengumpulkan data penulisan tugas akhir ini adalah: a. Studi Literatur Mengambil teori, data-data serta informasi yang diperlukan dalam pembahasan masalah yang berkaitan dengan judul tugas akhir dengan cara menggunakan bahan teori dari beberapa sumber pustaka atau tulisan yang dapat dipakai sebagai bahan perbandingan antara ilmu teori dan ilmu yang didapat dilapangan. b. Observasi Lapangan Ikut serta saat dilakukan proses pemerataan (penyeimbangan) beban, melakukan pengamatan secara langsung, kemudian melakukan pengukuran beban sebelum dan sesudah dilakukan pemerataan beban pada gardu distribusi BR 114 di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Medan Baru.

3.3 Data Gardu Distribusi BR 114

Gardu distribusi BR 114 berada di Jl. Murni, Setia Budi, memiliki transformator distribusi dengan kapasitas 160 kVA, yang menyalurkan energi listrik dari tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 380/220 V sampai kepada konsumen yang berada di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Medan Baru. Energi listrik yang diterima oleh transformator BR 114 ini disuplai dari penyulang LS 07 yang berasal dari Gardu Induk (GI) Listrik yang berada di Jl. Listrik.

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

Adapun beberapa peralatan dan bahan yang digunakan dalam proses pemerataan (penyeimbangan) beban adalah sebagai berikut :

a. Tang ampere digital

Tang ampere digital adalah alat ukur utama yang sangat berperan penting dalam pelaksanaan pemerataan beban ini. Alat ini dapat mengukur arus, tegangan, dan Cos phi / faktor kerja. Pada pelaksanaan pemerataan beban, tang ampere digunakan untuk mengukur tegangan sebelum dan sesudah pemerataan serta mengukur besar beban *incoming* dan *outgoing* sebelum dan sesudah dilakukan 32 pemerataan, sehingga mempermudah teknisi saat melaksanakan proses pemerataan beban.

b. Tespen

Tespen digunakan untuk mengecek ada atau tidaknya tegangan / arus listrik pada penghantar yang akan dipindah bebannya. Rangkaian tespen berbentuk obeng yang mempunyai mata minus (-) berukuran kecil pada bagian ujungnya. Tespen juga memiliki jepitan seperti pulpen dan didalamnya terdapat led yang mampu menyala seperti indikator tegangan listrik

c. Toolkit

Toolkit dilengkapi dengan berbagai jenis perkakas yang diperlukan saat proses pemerataan beban seperti, obeng plus dan min, tang, kunci L, kunci pas, kunci 33 *shock* serta peralatan lainnya yang berguna untuk membuka dan memasang kembali baut atau material lainnya yang terpasang pada jaringan sehingga mempermudah teknisi dalam melakukan pekerjaan.

d. *Bundle Connector Conductor* (BCC)

Bundle Connector Conductor digunakan untuk menghubungkan jaringan tegangan rendah dengan sambungan rumah (SR).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Pembebanan Transformator BR 114

Daya transformator = 160 kVA

Tegangan Line transformator = 400 volt

Arus beban penuh transformator distribusi BR 114 dapat dihitung dengan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{160.00 VA}{\sqrt{3} \times 400V} = 230,941 A$$

Maka,

$$\%b_R = \frac{193}{230,941} \times 100\% = 83,571\%$$

$$\%b_S = \frac{116}{230,941} \times 100\% = 50,229\%$$

$$\%b_T = \frac{79}{230,941} \times 100\% = 34,207\%$$

Jadi, rata-rata persentase pembebanan trafo pada waktu beban puncak adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{\%b_R + \%b_S + \%b_T}{3} \\ &= \frac{83,571\% + 50,229\% + 34,207\%}{3} \\ &= 56,002\% \end{aligned}$$

4.2 Analisa Sebelum Pemerataan Beban Transformator BR 114

Pada Rabu, 19 Januari 2022, penulis melakukan pengukuran beban pada Waktu Beban Puncak (WBP) pada transformator distribusi BR 114. Hasil pengukuran sebelum pemerataan ada pada Tabel 3.1. Untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi BR 114 terlebih dahulu melakukan perhitungan arus rata-rata pada arus masukan (*incoming*) dengan menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut :

$$\text{Arus rata - rata incoming} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{193 + 116 + 79}{3} = 129,333 A$$

Dari hasil perhitungan arus rata-rata diatas, maka dapat dihitung persentase selisih ketidakseimbangan beban antar fasa maksimum pada arus incoming sebagai berikut :

$$(\%) \text{Ketidakseimbangan beban} = \frac{193 - 79}{129,333} \times 100\% = 88,144\%$$

4.3 Rugi-rugi Daya Penghantar Netral Sebelum Pemerataan Beban

Rugi – rugi daya pada pemerataan beban menggunakan data pengukuran beban pada Waktu Beban Puncak (WBP). Untuk perhitungan rugi – rugi daya, maka diperlukan data resistansi (R) pada penghantar. Pada transformator distribusi BR 114 ada 2 jenis kabel yang digunakan yaitu kabel NYY dan kabel NFA2X-T. Kabel dari sekunder trafo ke incoming atau masukan PHB-TR menggunakan kabel NYY berukuran $4 \times 95 \text{ mm}^2$ yang berinti banyak, kabel dari outgoing PHB-TR BR 114 ke sambungan SUTR (kabel *opstyg*) menggunakan kabel NFA2X-T / TIC (*Twisted Cable*) $3 \times 70 \text{ mm}^2 +$

$1 \times 50 \text{ mm}^2$. Untuk kabel dari sambungan SUTR ke jurusan I dan jurusan II menggunakan kabel NFA2X-T $3 \times 50 \text{ mm}^2 + 1 \times 35 \text{ mm}^2$. Pada tabel 2.2 dapat dilihat nilai resistansi kabel NYY $4 \times 95 \text{ mm}^2$ adalah 0,193 ohm/km dan pada tabel 2.3 dapat dilihat nilai resistansi kabel NFA2X-T berukuran $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ adalah 0,443 ohm/km untuk penghantar fasa, 0,690 ohm/km untuk penghantar netral dan 46 nilai resistansi kabel NFA2X-T berukuran $3 \times 50 \text{ mm}^2 + 1 \times 35 \text{ mm}^2$ adalah 0,641 ohm/km untuk penghantar fasa, 0,986 ohm/km untuk penghantar netral.

4.4 Rugi-rugi Daya Penghantar netral Pada Jurusan II

Panjang kabel outgoing dari PHB-TR BR 114 menuju ke sambungan kabel jurusan II adalah 6m. Penghantar yang digunakan adalah kabel NFA2X-T / TIC (*Twisted Cable*) $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$. Nilai resistansi kabel NFA2X-T berukuran $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ adalah 0,443 ohm/km untuk penghantar fasa, 0,690 ohm/km untuk penghantar netral.

4.5 Kerugian Finansial Rugi-rugi Daya Transformator BR 114

Setelah perhitungan rugi-rugi daya pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) transformator BR 114, maka dapat diasumsikan perhitungan kerugian finansial (penjualan) oleh pihak PLN akibat adanya rugi-rugi daya energi listrik. Dapat diasumsikan pelanggan menggunakan pemakaian energi listrik dalam waktu 24 jam sehari selama 30 hari dimana dalam waktu 20 jam sehari untuk pemakaian LWBP dan 4 jam sehari untuk pemakaian WBP. Karena pemerataan beban dilakukan berdasarkan data pengukuran pada Waktu Beban Puncak (WBP), maka dalam perhitungan kerugian finansial digunakan waktu 4 jam sehari oleh 57 pelanggan dalam menggunakan energi listrik. Perhitungan kerugian finansial dilakukan dengan mengasumsikan setiap rumah memiliki daya 900 VA.

Tabel 4.1 Hasil pembahasan

Kasifikasi perbandingan	Sebelum pemerataan beban	Setelah pemerataan pertama	Setelah pemerataan kedua
Persentase ketidakseimbangan (%)	88,144	19,60	5,05
Rugi-rugi daya penghantar netral (kW)	10,8746	0,8932	0,141
Rugi energy (kWh)	1.304,952	107,184	16,92
Kerugian Penjualan (Rp/bulan)	1.764.295,104	144.912,768	22.875,84

5. PENUTUP

Pemerataan beban dilakukan dengan cara memindahkan sambungan rumah (SR) pelanggan dari fasa yang berbeban besar ke fasa yang berbeban kecil. Rugi-rugi daya sebelum pemerataan beban adalah 10,8746 kW, rugi-rugi daya setelah pemerataan beban pertama adalah 0,8932 kW, kemudian setelah dilakukan pemerataan beban kedua diperoleh rugi-rugi daya sebesar 0,141kW. Energi dan nilai rupiah yang diselamatkan dengan dilakukannya pemerataan beban pada transformator BR 114 pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) adalah 1.288,032 kWh dan Rp. 1741.419,264 / bulan.

Perlunya melakukan pengukuran beban transformator secara rutin dan mengupdate hasil pengukuran di SIGD (Sistem Informasi Gardu Distribusi) untuk mengetahui perkembangan beban transformator sehingga keseimbangan beban dapat lebih terjaga. Perlunya melakukan monitoring terhadap pelanggan pasang baru yang terus meningkat dan mempunyai data pelanggan/beban per fasa sebelumnya (sambungan lama) agar sambungan baru (khususnya pelanggan satu fasa) disambungkan pada fasa yang memiliki beban yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, Abdul. 2006. *Distribusi dan Utilitasi Tenaga Listrik*. Universitas Indonesia Press, Depok.
- Prasetya Ulah Sakti. 2008. *Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah*.
- Keputusan Direksi PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi Dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT.PLN (Persero).
- Keputusan Direksi PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta.
- PT.PLN (Persero) PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Transformator*. Suswanto, Doman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang.
- Ir. Markoni. 2017. *Teori Dasar Teknik Tenaga Listrik Edisi 2*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Bachtiar, Rizal. 2021. Mata Pelajaran 8 Gardu Distribusi. Jakarta : PLN Corporate University.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha Ilmu Yogyakarta.
- Badaruddin Ir, MT. 2012. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo distribusi*. Universitas Mercu Buana (UMBPress), Jakarta.
- PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Teknik Penyeimbangan Beban*.
- Saiful Risal. 2014. *Studi Eksplorasi Arus Pada Kawat Netral Akibat Ketidakseimbangan Arus Beban Pada Unit Transformator Distribusi Di Universitas Negeri Semarang*. Diakses dari Saifur Risal / Edu Elekrika 3 (2) (2014), pada 20 Juni 2022, pukul 20:42.