



**Analisis Ketidakseimbangan Beban pada  
Transformator *Step Down* di *Switch House* 3 PT  
Batamindo Investment Cakrawala**

**Tugas Akhir**

**Oleh:  
Hasanudin (4232111001)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2025**

# Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya, yang bertandatangan di bawah ini, menyatakan bahwa materi tugas akhir saya yang berjudul "**Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Step Down di Switch House 3 Pt Batamindo Investment Cakrawala**", yang saya selesaikan sendiri, tanpa menggunakan bahan yang tidak diizinkan, dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya saya sendiri. Daftar pustaka mencantumkan semua referensi yang dikutip atau dirujuk. Saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku jika pernyataan saya ini ternyata salah.

Batam, 08- 01- 2025



---

Hasanudin  
NIM: 4232111001

# Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)  
di  
Politeknik Negeri Batam

Oleh:  
Hasanudin (4232111001)

Tanggal Sidang: 08-01-2025

Disetujui oleh:

Dosen Penguji I



FILEDIN:  
HASNIRA  
23rd January 2025  
Perihal:  
Membaca dan Menyetujui Laporan Tugas Akhir  
Hasanudin  
No. Pengantar:  
4337441186661f6d846c216f546a55589021ff  
1482a685e026297c21c6  
Verifikasi melalui web: <https://pa.pnb Batam.ac.id>

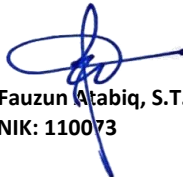
Hasnira, S.ST., M. Tr.T  
NIK: 113112

Dosen Pembimbing



Yusiran, S.Si., M.T  
NIK: 113112

Dosen Penguji II



Fauzun Atabiq, S.T., M. Cs  
NIK: 110073

Pembimbing Industri



Rudy Prasetya, S.T

## Lembar Pengesahan industri

Data laporan Tugas akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapatkan izin untuk disimpan ,dikelola,dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik

Disusun oleh : Hasanudin

Program Studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan : Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir: Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Step  
Down Di Switch House 3 Pt Batamindo Investment Cakrawala

Perusahaan: PT. Batamindo Investment Cakrawala

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Yusiran, S.Si., M.T  
NIK: 123294

Pembimbing industri



Rudy Prasetya, S.T



# **Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator *Step Down* di *Switch House* 3 PT Batamindo Investment Cakrawala**

## **Abstrak**

Salah satu transformator yang dimiliki Batamindo Investment Cakrawala adalah transformator *step down*, yang dapat menurunkan tegangan dari 20 kV hingga 400 V. Dalam hal ini perusahaan pembangkit Listrik khusus nya *power house* batamindo harus memperhatikan hal-hal yang dapat mengurangi kualitas listrik yang mengakibatkan terjadi nya penurunan kualitas pada trafo sehingga dapat menyebabkan terjadi nya kerusakan atau pemadaman. Untuk itu hal yang harus diperhatikan Salah satunya adalah perhitungan ketidakseimbangan beban, perhitungan rugi-rugi daya dan *efisiensi* pada trafo. Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis persentase ketidakseimbangan beban pada trafo ABB 902, pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi daya yang disebabkan arus netral, besar nya rugi-rugi daya pada trafo dan menganalisis nilai *efisiensi* pada trafo ABB 902. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis melakukan penelitian dengan menggunakan metode kuantitatif dan komparatif. Adapun hasil dari penelitian ini diketahui bahwa ketidakseimbangan beban pada trafo berada di angka 0% - 2%, besarnya rugi-rugi daya pada trafo *step down* ABB 902 di *switch house* 3 baik itu rugi arus netral,rugi tembaga,rugi inti dalam satu hari atau pun 2 minggu saat pengukuran bahwa persentase rugi-rugi daya nya masih berada di angka 0% - 1% dan *efisiensi* transformator ABB 902 di *switch house* 3 berada di angka 98% - 99%. Sehingga dapat disimpulkan kondisi Trafo ABB 902 masih dalam kondisi baik menurut standar PLN No 17 tahun 2014, PLN 50:1997, dan SPLN D3.002-1:2007

Kata kunci: transformator, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya, dan *efisiensi*.

# **Load Imbalance Analysis on Step Down Transformers in Switch House 3 PT Batamindo Investment Cakrawala**

## **Abstract**

*One of the transformers owned by Batamindo Investment Cakrawala is a stepdown transformer, which can reduce the voltage from 20 kV to 400 V. In this case, the power generation company, specifically the Batamindo power house, must pay attention to things that can reduce the quality of electricity which results in a decrease. The quality of the transformer can cause damage or blackout. For this reason, one of the things that must be considered is the calculation of load imbalance, calculation of power losses and efficiency in the transformer. The aim of this research is to analyze the percentage of load imbalance on the ABB 902 transformer, the effect of load imbalance on power losses caused by neutral currents, the amount of power losses on the transformer and analyze the efficiency value of the ABB 902 transformer. In writing this final assignment the author conducted research using quantitative and comparative methods. The results of this research show that the load imbalance on the transformer is at 0% - 2%, the amount of power loss on the ABB 902 step down transformer in switch house 3, whether it is neutral current loss, copper loss, core loss in one day or Even after 2 weeks of measurement, the percentage of power losses was still at 0% - 1% and the efficiency of the ABB 902 transformer in switch house 3 was at 98% - 99%. So it can be concluded that the condition of the ABB 902 transformer is still in good condition according to PLN standards No. 17 of 2014, PLN 50:1997, and SPLN D3.002-1:2007*

*Key words: transformer, load imbalance, power losses, and efficiency.*

## Kata Pengantar

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah memberi penulis kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator *Step Down* di *Switch House* 3 PT Batamindo Investment Cakrawala". Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada program studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam. Tidak lupa shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang syafa'atnya kita nantikan kelak.

Dengan bantuan, bimbingan, dan inspirasi dari banyak orang, tugas akhir ini menjadi tonggak penting dalam perjalanan pendidikan penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara, dan keluarga yang telah memberikan doa, restu, serta dukungan moril dan materiel sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs selaku Dosen wali akademik penulis di kelas RPE Malam
3. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng sebagai ketua prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
4. Bapak Yusiran, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan serta bimbingan dan saran kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Bapak Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd selaku dosen pengampu Tugas Akhir yang telah membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
6. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T selaku koordinator magang yang telah membantu dalam proses pencarian tempat magang dan proses dalam administrasi magang.
7. Segenap dosen pengajar di Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di program studi ini.
8. Bapak Arpahksad Limanauw, S.T selaku manajer elektrik *Power House Division* PT Batamindo Investment Cakrawala sebagai pembimbing magang yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan serta memperoleh data yang dibutuhkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Bapak Rudy Prasetya selaku supervisor Di Elektrik Transmisi PT Batamindo Invesment Cakrawala yang banyak membantu penulis dalam proses studi kasus lapangan

10. Saudara Sunu Waluyo selaku senior eletrik Transmisi sebagai mentor yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh staf dan karyawan Eletrik maintenance dan Transmisi *Power House Division* PT Batamindo Investment Cakrawala.
12. Saudari Dina Istiana yang sudah selalu mendampingi penulis dalam proses penyusunan Laporan Tugas akhir ini
13. Teman-teman yang memberikan dukungan moral dan semangat, menjadi sumber inspirasi, serta berbagi kegembiraan dan tantangan selama perjalanan studi ini.
14. Diri sendiri, atas keberanian dan ketekunan yang ditunjukkan dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.

Diharapkan tugas akhir ini akan membantu Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi dan menjadi referensi yang bermanfaat bagi pembaca. Akhir kata, semua masukan dan kritik yang membangun sangat dihargai oleh penulis, dan mereka berharap pengetahuan akan diperbaiki dan dikembangkan di masa mendatang.

Batam, 08- 01- 2025



---

Hasanudin  
NIM: 4232111001

# Daftar Isi

|   |      |
|---|------|
| Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....                 | i    |
| Lembar Pengesahan .....                               | ii   |
| Abstrak .....   | iv   |
| <i>Abstract</i> .....                                 | v    |
| Kata Pengantar .....                                  | vi   |
| Daftar Isi .....                                      | viii |
| Daftar Gambar .....                                   | x    |
| Daftar Tabel .....                                    | xi   |
| Bab 1. Pendahuluan .....                              | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                             | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                            | 2    |
| 1.3. Tujuan .....                                     | 2    |
| 1.4. Manfaat .....                                    | 2    |
| 1.5. Batasan .....                                    | 3    |
| Bab 2. Tinjauan Pustaka .....                         | 4    |
| 2.1. Studi literatur .....                            | 4    |
| 2.2. Dasar Teori .....                                | 5    |
| 2.2.1. Pengertian Transformator .....                 | 5    |
| 2.2.2. Jenis- Jenis Transformator .....               | 5    |
| 2.3. Sistem Pembebanan Trafo .....                    | 7    |
| 2.4. Sistem Transmisi .....                           | 7    |
| 2.5. Jenis Daya Pada Transformator .....              | 8    |
| 2.6. Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator ..... | 10   |
| 2.7. Rugi-Rugi Daya Pada Transformator .....          | 15   |
| 2.7.1. Rugi inti .....                                | 15   |
| 2.7.2. Rugi kumparan .....                            | 16   |
| 2.7.3. Rugi arus netral pada transformator .....      | 17   |
| 2.8. Efisiensi Transformator .....                    | 18   |

|   |    |
|---|----|
| Bab 3. Metode penelitian .....                                | 19 |
| 3.1. Metode Perancangan .....                                 | 19 |
| 3.2. Waktu dan Tempat penelitian .....                        | 19 |
| 3.3. Langkah – Langkah Penelitian .....                       | 19 |
| Bab 4. Hasil Dan Pembahasan .....                             | 22 |
| 4.1. Hasil pengumpulan data.....                              | 22 |
| 4.2. Pembahasan .....   | 23 |
| 4.2.1. Analisa persentase pembebanan pada transformator ..... | 23 |
| 4.2.2. Analisa ketidakseimbangan beban trafo .....            | 27 |
| 4.2.3. Analisa rugi-rugi daya trafo .....                     | 31 |
| 4.2.4. Analisa nilai efisiensi transformator .....            | 45 |
| Bab 5. Kesimpulan Dan Saran.....                              | 56 |
| 5.1. Kesimpulan .....   | 56 |
| 5.2. Saran .....  | 56 |
| Daftar Pustaka .....  | 57 |
| Biodata .....   | 58 |
| Lampiran A .....  | 59 |
| Lampiran B .....  | 60 |
| Lampiran C .....  | 61 |

## Daftar Gambar

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. <i>Single line diagram</i> sistem transmisi batamindo .....   | 8  |
| Gambar 2. Segitiga Daya[2] .....  | 10 |
| Gambar 3. Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang [3].....   | 11 |
| Gambar 4. Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Tidak Seimbang[3] .....   | 11 |
| Gambar 5. Diagram Alir Proses Penelitian analisis ketidakseimbangan beban Pada Trafo <i>Step Down</i> ABB 902 ..... | 20 |
| Gambar 6. Grafik Nilai Persentase Pembebanan Trafo <i>Step Down</i> ABB 902.....                                    | 26 |
| Gambar 7. Grafik Persentase Ketidakseimbangan Beban .....   | 30 |
| Gambar 8. Grafik rugi daya yang disebabkan adanya arus netral .....   | 34 |
| Gambar 9. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral .....   | 35 |
| Gambar 10. Grafik rugi daya yang disebabkan adanya arus netral .....  | 37 |
| Gambar 11. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral .....  | 38 |
| Gambar 12. Grafik rugi-rugi tembaga pada siang dan sore.....  | 41 |
| Gambar 13. Grafik nilai <i>efisiensi</i> pada siang .....   | 47 |
| Gambar 14. Grafik nilai <i>efisiensi</i> pada sore .....  | 49 |
| Gambar 15. Grafik nilai efisiensi pada minggu pertama .....   | 50 |
| Gambar 16. Grafik nilai efisiensi pada minggu kedua .....   | 51 |
| Gambar 17. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 1 .....  | 52 |
| Gambar 18. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 1 .....  | 53 |
| Gambar 19. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 2 .....  | 54 |
| Gambar 20. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 2 .....  | 55 |

## Daftar Tabel

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1. Standar beban transformator PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014 .....   | 14 |
| Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Trafo <i>Step Down</i> ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024 .....                        | 22 |
| Tabel 3. Data Spesifikasi Transformator .....   | 23 |
| Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Persentase Pembebanan Trafo <i>Step Down</i> ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024 .....             | 25 |
| Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Persentase Ketidakseimbangan Beban Trafo <i>Step Down</i> ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024..... | 29 |
| Tabel 6. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Akibat Arus Netral Trafo <i>Step Down</i> ABB (902) waktu siang (18 November s/d 29 november 2024) .....              | 33 |
| Tabel 7. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Akibat Arus Netral Trafo <i>Step Down</i> ABB (902) waktu sore (18 November s/d 29 november 2024) .....               | 36 |
| Tabel 8. Hasil Perhitungan Rugi Tembaga Pada Trafo <i>Step Down</i> ABB 902 Waktu Siang Dan Sore 18 November S/D 29 November 2024 .....                         | 40 |
| Tabel 9. Total rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 waktu siang hari.....  | 43 |
| Tabel 10. Total rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 waktu sore hari .....   | 44 |
| Tabel 11. Hasil Perhitungan efisiensi pada Trafo <i>Step Down</i> ABB 902 siang hari (18-29 november 2024) .....  | 47 |
| Tabel 12. Hasil Perhitungan efisiensi pada Trafo <i>Step Down</i> ABB 902 sore hari (18-29 november 2024) .....   | 48 |

# Bab 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Dengan maju nya perkembangan jaman energi Listrik merupakan kebutuhan penting bagi setiap orang. Hampir setiap orang memerlukan listrik untuk melakukan hampir semua hal, baik secara pribadi maupun kolektif. Karena bertambahnya penduduk dan area industri di kota Batam, kebutuhan listrik ini semakin meningkat. Salah satu kawasan industri di kota Batam adalah Kawasan industri Batamindo yang memiliki peran penting dalam kemajuan Pembangunan nasional dan kota batam.

PT. Batamindo Investment Cakrawala merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang jasa yang dimana terdapat banyak sekali jasa yang diberikan untuk perusahaan besar yang berinvestasi di PT. Batamindo Investment Cakrawala salah satunya seperti catu daya sumber listrik (*Power House*). Pada divisi *Power House* merupakan salah satu divisi yang ada dibawah naungan PT. Batamindo Investment Cakrawala. Yang dimana Divisi *Power House* ini berfungsi sebagai pembangkit listrik untuk menyuplai listrik untuk memenuhi kebutuhan operasional perusahaan yang berada di kawasan industri Batamindo. *Divisi Power House* ini memiliki tanggung jawab penuh soal menyuplai listrik yang akan di distribusikan ke perusahaan atau tenant. Karena itu *Divisi Power House* ini harus menyuplai sumber listrik selama 24 jam dan harus menjaga agar listrik harus tetap beroperasi dan harus menghindari terjadinya pemadaman total (*black out*). Pada *divisi Power House* selain bertanggung jawab pada supply energi listrik untuk para perusahaan atau *tenant*, *Power House* juga menyuplai listrik di area *divisi Power House* untuk pemakaian sendiri yaitu sistem *auxiliary* yang ada power house.

Salah satu transformator yang dimiliki Batamindo Investment Cakrawala adalah transformator *step down*, yang dapat menurunkan tegangan dari 20 kV hingga 400 V. Dalam hal ini perusahaan pembangkit Listrik khusus nya *power house* batamindo harus memperhatikan hal-hal yang dapat mengurangi kualitas listrik yang mengakibatkan terjadi nya penurunan kualitas pada trafo sehingga dapat menyebabkan terjadi nya kerusakan atau pemadaman. Untuk itu hal yang harus diperhatikan Salah satunya adalah perhitungan ketidakseimbangan beban, perhitungan rugi-rugi daya dan *efisiensi* pada trafo. Dalam hal ini perlu dilakukan penelitian dan analisis pada transformator untuk mengetahui apakah persentase beban operasional trafo apakah mengalami beban berlebih,mengetahui nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo,mengetahui berapa rugi-rugi daya pada trafo dan mengetahui persentase *efisiensi* pada trafo.

Bedasarkan pemaparan diatas maka penulis melakukan penelitian dengan judul "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator *Step Down* di *Switch house* 3 PT Batamindo Investment Cakrawala" sebagai Tugas Akhir.

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah untuk tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimanakah nilai persentase ketidakseimbangan beban pada transformator *step down* ABB 902 di *switch house* 3
2. Bagaimanakah pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi rugi daya yang disebabkan adanya arus netral
3. Berapakah besar rugi – rugi daya pada transformator *step down* ABB 902 di *switch house* 3
4. Bagaimanakah nilai persentase efisiensi pada transformator *step down* ABB 902 di *switch house* 3

## 1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang hendak penulis dapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis nilai persentase ketidakseimbangan beban pada transformator *step down* ABB 902 di *switch house* 3
2. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi rugi daya yang disebabkan adanya arus netral
3. Menganalisis besarnya rugi – rugi daya pada transformator *step down* ABB 902 di *switch house* 3
4. Menganalisis nilai efisiensi pada transformator ABB 902 di *switch house* 3

## 1.4. Manfaat

Adapun manfaat yang hendak penulis dapatkan dari penelitian tugas akhir ini:

1. Penelitian ini dapat dipergunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengoperasian transformator *Step down* di *Power house* batamindo investment cakrawala untuk mengatasi gangguan dan kerusakan pada transformator *step down*
2. Untuk memperdalam pengetahuan tentang transformator secara rinci yang dilengkapi dengan analisis secara teknis
3. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan teknologi, terutama pada diri sendiri dan rekan-rekan yang berada di *section* transmisi

## 1.5. Batasan

Agar pembahasan tetap pada penelitian adapun penulis memberikan batasan terhadap penelitian ini:

1. Hanya menganalisis ketidakseimbangan beban pada transformator *step down* ABB 902 di *Power house* batamindo investment cakrawala untuk pemakaian *auxiliary*
2. Transformator yang dibahas yaitu transformator *Step down* yang ada di dekat area *switch house*3 di *Power house* batamindo investment cakrawala
3. menganalisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban pada trafo ABB 902 Terhadap *Losses* yang disebabkan oleh adanya arus netral
4. menganalisa rugi - rugi daya pada transformator *Step down* ABB 902
5. menganalisa nilai *efisiensi* pada transformator ABB 902
6. Pengukuran ini hanya dilakukan 2 minggu sehingga hari-hari yang lain tidak diolah datanya dan pengukuran pada bagian sekunder IR, IS, IT Dan IN yaitu arus pada siang hari dan sore hari yaitu pada saat beban tidak banyak beroperasi dan saat beban puncak
7. Tidak membahas kerugian *konvensional* atau pun *non konvensional* akibat terjadinya rugi-rugi daya.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Studi literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari penelitian sebelumnya, tinjauan pustaka, buku-buku, dan jurnal-jurnal di internet yang relevan atau mendukung teori. Jurnal yang digunakan sebagai referensi harus diambil dari internet yang terpercaya dan harus sesuai dengan topik tugas akhir dan kredibel. Selain itu, jurnal harus dikomunikasikan dengan pembimbing untuk memastikan bahwa jurnal tersebut sesuai dengan standar agar dapat digunakan sebagai panduan dalam penelitian. Berikut ini adalah beberapa jurnal yang meliputi tinjauan pustaka yang terkait dengan penelitian ini:

1. Peneliti Kawihing (2013) dengan judul “Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi *Sekunder*” dalam jurnal penelitian ini membahas tentang akibat dari ketidakmerataan beban sistem jaringan distribusi pada transformator distribusi *sekunder*.
2. Peneliti Dahlan (2009) dengan judul "Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan *Losses* Pada Transformator Distribusi", jurnal penelitian ini membahas tentang akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi.
3. Peneliti Irwan Nas (2017) dengan judul “Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Di. Pt Pln (Persero) Rayon Jeneponto” jurnal ini membahas Tentang ketidakseimbangan beban pada Trafo distribusi, dan rugi daya dan *Efisiensi* pada Transformator.
4. Peneliti Ahmad Saiful Aprilian Ektianto, Ir. Agus Darwanto M.T.a (2021) dengan judul “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di. Pt. Pln (Persero) Rayon Cepu” Jurnal penelitian ini membahas ketidakseimbangan pada trafo selama 1 bulan dan rugi daya yang dihasilkan serta kerugian material yang di alami PLN selama 1 bulan
5. Peneliti Riky Markus Solossa, Hadi Tasmono dengan judul “Analisa *Efisiensi* pada transformator Daya 60 mva Di Gardu induk babadan sidoarjo” membahas rugi rugi dan *efisiensi* yang ditimbulkan oleh ketidakseimbangan beban pada trafo daya 60 mva

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Pengertian Transformator

Transformator adalah peralatan listrik yang mengubah bentuk energi listrik menjadi suatu bentuk energi listrik yang lainnya. Transformator biasanya terdiri dari kawat yang dililitkan pada inti besi dan terdiri dari dua jenis kumparan: kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer melilit satu sisi inti besi dan menghasilkan arus masuk. Sementara itu, kumparan sekunder melilit sisi lain inti besi dan menghasilkan arus keluar. Pada transformator, lilitan ini disebut kumparan, dan kedua sisinya dililitkan pada inti besi lunak, yang dimana memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Pada saat tegangan AC masuk ke sisi lilitan primer akan menimbulkan medan magnet yang terjadi karena perubahan arus bolak-balik yang semuanya terhubung dengan lilitan sekunder, sehingga akan menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL) pada lilitan sekunder yang kemudian menghasilkan energi Listrik[1]. Ada pun perbandingan belitan transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (1)$$

Keterangan:

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| $N_p$ | : Lilitan <i>Primer</i>    |
| $N_s$ | : Lilitan <i>Sekunder</i>  |
| $V_p$ | : Tegangan <i>primer</i>   |
| $V_s$ | : Tegangan <i>sekunder</i> |
| $I_s$ | : Arus <i>sekunder</i>     |
| $I_p$ | : Arus <i>primer</i>       |

### 2.2.2. Jenis- Jenis Transformator

#### 1. Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat dibedakan berdasarkan pasangan kumparan atau lilitannya menjadi 3 jenis yaitu:

- Transformator satu belitan
- Transformator dua belitan
- Transformator tiga belitan

## 2. Transformator Berdasarkan Fungsi

Transformator terbagi menjadi kategori berikut berdasarkan fungsinya: transformator daya, transformator distribusi, transformator pengukuran, dan transformator elektronik.

### a) Transformator Daya

Pemasok daya menggunakan transformator daya untuk melakukan dua tugas: menaikkan tegangan (*step-up*) dan menurunkan tegangan (*step-down*). Karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban sedangkan sisi tegangan tingginya adalah tegangan transmisi, transformator daya tidak dapat digunakan secara langsung untuk menyuplai beban. Jika tegangan keluaran sistem lebih tinggi daripada tegangan *transmisi*, transformator daya berfungsi sebagai *step-up*.

### b) Transformator distribusi

Transformator ini bekerja untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah karena tugasnya sebagai transformator distribusi adalah untuk mendistribusikan energi listrik ke suatu GI kepada individu atau komunitas. Ada tiga karakteristik transformator ini: sisi primer memiliki lilitan yang lebih besar daripada sisi sekunder, tegangan di sisi primer lebih tinggi daripada tegangan di sisi sekunder, dan kuat arus di sisi primer lebih kecil daripada kuat arus di sisi sekunder. Trafo distribusi biasanya ditemukan di drop layanan, di mana kabel mengalir ke tempat pelanggan dari tiang listrik.

### c) Transformator ukur

Trafo ini biasanya digunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V), yang tidak dapat diukur secara langsung oleh *voltmeter* atau *ampere meter*.

### d) Transformator elektronik

Meskipun bentuknya hampir sama dengan transformator daya, kapasitas daya reaktifnya sangat kecil, hanya kurang dari 300 VA, atau dua belas volt per rangkaian elektronik.

## 2.3. Sistem Pembebanan Trafo

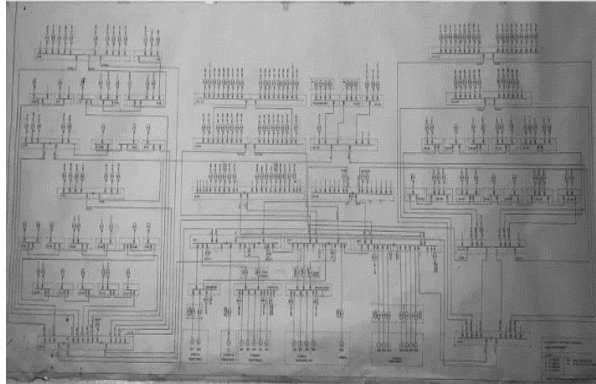
Trafo merupakan komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik. Pada standar pembebanan trafo distribusi, nilai pada pembebanan trafo adalah 80% dari kapasitas beban penuh pada trafo tersebut dan 20% sisa dari kapasitas beban pada transformator digunakan untuk *safety factor*. *Safety factor* merupakan cadangan daya dari trafo yang digunakan untuk menyuplai daya jika dalam kondisi darurat. Adapun manfaat jika pembebanan operasional trafo dengan kapasitas 80% dari beban penuh adalah agar trafo memiliki umur yang panjang, untuk mencegah terjadinya *over heat temperature* pada *winding, oil* transformator dan memperpendek umur isolasi.

## 2.4. Sistem Transmisi

Transmisi merupakan sistem terpenting dalam pembangkit listrik yang memiliki peran sebagai menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju ke gardu listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit akan di naikkan nilai tegangannya dengan menggunakan trafo *step up* hal ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran transmisi. Adapun level kapasitas tegangan jalur transmisi sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) nilai tegangan operasi sekitar 200kV-500kV.
2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) nilai tegangan operasi antara 30kV-150kV.
3. Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT) nilai tegangan operasi diatas 800kV.

Pada *Power House* PT. Batamindo Investment Cakrawala yang merupakan perusahaan pembangkit listrik untuk penggunaan Kawasan industri. Di *Power House* tegangan yang dihasilkan dari pembangkit yaitu 11kV lalu tegangan 11kV dinaikkan dengan transformator *step up* menjadi 20kV lalu akan disalurkan ke gardu induk pada setiap *tenant* dengan menggunakan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*).



**Gambar 1. Single line diagram sistem transmisi batamindo**

## 2.5. Jenis Daya Pada Transformator

Daya listrik adalah kapasitas alat listrik untuk melakukan pekerjaan karena perubahan kerja dan variasi muatan listrik dalam satuan waktu. diukur dalam satuan watt, volt amper, volt amper reaktif. Ada tiga jenis daya pada Listrik yaitu:

### 1) Daya aktif

Daya aktif memiliki kemampuan untuk digunakan pada beban dan mengubahnya menjadi energi seperti panas, cahaya, gerakan, dan sebagainya. Watt (W), Kilowatt (KW), dan Megawatt (MW) adalah satuan yang digunakan untuk mengukur daya aktif[2].

$$\frac{\text{Line to netral}}{1 \text{ phase}} = V \times I \times \text{COS } \phi \quad (2)$$

$$\frac{\text{Line to line}}{3 \text{ phase}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{COS } \phi \quad (3)$$

Keterangan :

P = Daya aktif/Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

Cos  $\phi$  = Faktor Daya

2) Daya reaktif

Daya reaktif adalah daya listrik yang mengalir secara bolak-balik dalam sirkuit listrik. Daya reaktif biasanya diukur dalam unit *volt-ampere reaktif (VAR)* atau *kilovolt-ampere reaktif (kVAR)*, tetapi tidak digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanis[2].

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (4)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \quad (5)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Sin  $\varnothing$  = Besaran Vektor Daya

3) Daya semu

Daya semu, yang terdiri dari daya reaktif dan daya aktif, dihitung dengan mengalikan tegangan dan arus rangkaian tanpa mempertimbangkan sudut fase. *Volt-ampere (VA)* atau *kilovolt-ampere (kVA)* adalah satuan daya nyata[2].

$$\text{Untuk 1 fasa : } S = V \times I \quad (6)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (7)$$

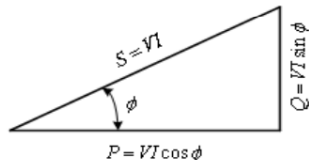
Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Dari penjelasan macam macam daya di atas baik pada daya aktif, reaktif, dan semu, dikenal juga dengan Segitiga Daya. Segitiga Daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif.



**Gambar 2. Segitiga Daya[2]**

## 2.6. Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

Ketidakseimbangan beban pada transformator terjadi ketika beban yang terhubung pada setiap fasa (R, S, T) tidak sama besar atau sudut fasanya tidak membentuk 120 derajat[3]. Kondisi ini menyebabkan arus netral mengalir pada transformator, yang seharusnya idealnya nol pada sistem tiga fasa yang seimbang. Karena beban pada satu fasa lebih besar dari semua fasa, sistem tiga fasa sering mengalami masalah beban tidak seimbang. Dalam kasus di mana ada ketidakseimbangan beban pada tiga fasa, arus akan mengalir ke kawat netral dan perbedaan sudut beban per fasa tidak sama dengan 120°. Keadaan beban seimbang adalah keadaan di mana:

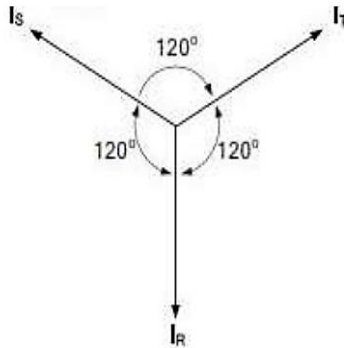
- a. Ketiga vektor arus/tegangan sama besar.
- b. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Ketidakseimbangan beban dapat sangat membahayakan sistem kelistrikan. Salah satunya adalah peningkatan arus netral, yang dapat memanaskan kabel dan peralatan listrik lainnya. Ketidakseimbangan ini juga dapat mengurangi efisiensi sistem, mengurangi daya, dan merusak peralatan listrik jika dibiarkan terlalu lama. Namun demikian Ketidakseimbangan yang parah juga dapat meningkatkan kemungkinan gangguan listrik atau pemadaman. Ketidakseimbangan beban sering terjadi pada sistem industri karena pengoperasian mesin atau peralatan yang tidak teratur atau berubah-ubah; penyebab lain termasuk perbedaan kapasitas beban pada tiap fasa; atau bahkan faktor lingkungan yang mengganggu distribusi daya, seperti suhu dan kelembaban.

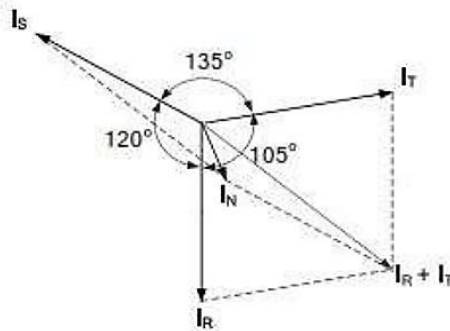
Adapun kemungkinan yang terjadi jika terjadi ketidakseimbangan beban pada trafo ada tiga yaitu[3]:

1. Ketiga vektor fasa R, S, T nilainya sama besar tetapi sudut fasa tidak membentuk 120° satu sama lain.

2. Ketiga vektor fasa R, S, T nilai vector tidak sama akan tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
3. Ketiga vektor fasa R, S, T nilainya tidak sama besar dan sudut fasa tidak membentuk  $120^\circ$  satu sama lain.



Gambar 3. Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang [3]



Gambar 4. Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Tidak Seimbang [3]

Pada gambar 3 dapat dilihat vector arus dalam keadaan seimbang hal ini dapat dilihat ketiga vector arus R, S, T membentuk sudut sama-sama 120° sehingga pada ketiga vector jika dijumlahkan maka akan mendapatkan nilai nol sehingga dalam keadaan beban seimbang tidak akan muncul nilai arus pada netral. Sedangkan pada gambar 4 dapat dilihat vector arus dalam keadaan tidak seimbang karena sudut pada ketiga vector arus tidak membentuk sudut 120° dan jika dijumlahkan ketiga vector arus tersebut maka hasilnya tidak sama dengan nol sehingga ini dapat mengakibatkan munculnya nilai arus pada netral yang nilai arusnya itu tergantung dari berapa besarnya faktor ketidakseimbangan beban terhadap trafo

Kapasitas daya operasional pada trafo bila dilihat dari tegangan yang sudah diketahui nilai tegangan pada sisi kumparan primer maka dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (8)$$

Dimana:

S = Daya trafo (kVA)

V = Tegangan kumparan sisi primer trafo (kV)

I = Arus jala – jala (A)

Sehingga jika untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) pada trafo dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$IFL = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (9)$$

Dimana:

IFL = Arus beban penuh (A)

S = Kapasitas daya trafo (VA)

V =Tegangan kumparan sisi sekunder trafo (V)

Sebelum menghitung presentasi pembebanan pada trafo terlebih dahulu menghitung arus rata – rata dari beban trafo. Untuk menghitung arus rata – rata beban trafo dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$I \text{ rata – rata} = \frac{IR + IS + IT}{3} \quad (10)$$

Jika sudah mendapatkan nilai dari arus rata-rata per *phase* maka dapat dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada trafo. Menurut standar PLN no 17 tahun 2014 bahwa trafo distribusi dikatakan mengalami beban berlebih dan apabila nilai persentase beban trafo melebihi 80% dari kapasitas nominalnya.

Untuk perhitungan persentase pembebanan trafo dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$\frac{I \text{ rata} - \text{rata}}{IFL} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana:

$I \text{ rata} - \text{rata}$  = Nilai rata – rata arus dari R S T (A)

IFL = Arus beban penuh pada trafo (A)

Pada keadaan beban seimbang jumlah nilai besarnya dari koefisien a,b, dan c adalah 1 . Menurut standar PLN no 17 tahun 2014 Ketidakseimbangan beban trafo memiliki standar nilai persentase ketidakseimbangan yang baik yaitu maksimal sebesar <10%. Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang nilainya sama besar dengan arus rata-rata. Jadi untuk menghitung ketidakseimbangan beban pada trafo dapat dirumuskan sebagai berikut[5]:

$$IR = a . I \text{ maka } a = \frac{IR}{I \text{ rata} - \text{rata}} \quad (12)$$

$$IS = b . I \text{ maka } b = \frac{IS}{I \text{ rata} - \text{rata}} \quad (13)$$

$$IT = c . I \text{ maka } c = \frac{IT}{I \text{ rata} - \text{rata}} \quad (14)$$

*Persentase rata – rata Ketidakseimbangan beban(%)*

$$= \frac{[a - 1] + [b - 1] + [c - 1]}{3} \times 100\% \quad (15)$$

**Tabel 1. Standar beban transformator PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014**

| No | Parameter   | Indeks |              |               |       |
|----|---|--------|--------------|---------------|-------|
|    |   | Baik   | Cukup        | Kurang        | Buruk |
| 1. | Ketidakseimbangan arus di antara dua fasa, atau ketiga fasa | <10%   | 10%<br><20%  | 20%<br><25%   | ≥25%  |
| 2. | Arus Netral yang Besar (% dari arus beban trafo)            | <10%   | 10%<br><20%  | 20%<br><25%   | ≥20%  |
| 3. | Pembebanan Trafo (%terhadap kapasitas)                      | <10%   | 60%-<br><80% | 80%-<br><100% | ≥100% |

Dari paparan tabel 1 diketahui merupakan standar PLN yang digunakan untuk menilai parameter nilai persentase ketidakseimbangan beban, arus netral dan pembebanan trafo. Dalam hal ini penulis menggunakan standar PLN tahun 2014 untuk dijadikan perbandingan dari hasil analisa yang telah didapatkan untuk digunakan sebagai perbandingan apakah hasil dari analisa pada ketidakseimbangan transformator, rugi arus netral pada transformator masih dalam keadaan normal atau tidak.

## 2.7. Rugi-Rugi Daya Pada Transformator

Rugi – rugi daya adalah arus yang hilang saat melewati transformator, energi listrik yang masuk ke transformator tidak sama dengan energi listrik yang keluar dari transformator. Rugi inti ( $P_i$ ) dan rugi tembaga ( $P_{cu}$ ) adalah dua komponen rugi daya. Dalam kondisi beban nol, hanya rugi inti yang terjadi, dan adanya tidak mempengaruhi rugi inti. Dengan asumsi tegangan primer konstan atau tetap, kerugian inti dari beban nol hingga beban penuh sama. Rugi daya umumnya pada transformator terdiri dari rugi inti dan rugi tembaga, rugi arus netral. Maka dapat dirumuskan[5]:

$$P_{losses} = P_i + P_{cu} + P_n \quad (16)$$

### 2.7.1. Rugi inti

Rugi inti salah satu jenis kerugian energi yang terjadi pada trafo adalah rugi inti, atau rugi besi. Ini terjadi karena *fluks* magnetik bolak-balik yang menginduksi arus eddy dan histeresis pada inti besi transformator. dimana dapat dirumuskan :

$$P_{fe} = P_h + P_e \quad (17)$$

Keterangan:

$P_{fe}$  = Rugi inti (Watt)

$P_h$  = Rugi histeresis

$P_e$  = Rugi arus eddy

#### a. Rugi arus eddy

Kerugian arus eddy, yang disebabkan oleh arus listrik kecil yang mengalir melalui inti besi trafo dalam bentuk lingkaran tertutup (*eddy*), adalah salah satu jenis kerugian energi yang terjadi pada trafo. Arus *eddy* ini disebabkan oleh *fluks* magnetik bolak-balik yang terus berubah[6]:

$$P_e = K_e \cdot f \cdot B_{max} \quad (18)$$

Dimana :

Pe = Rugi arus eddy  
Ke = Konstanta eddy  
f = Frekuensi  
Bmax = Kerapatan fluks maksimum

#### b. Rugi histeresis

Salah satu jenis kerugian energi yang terjadi pada inti besi trafo adalah kerugian histeresis. Kerugian ini disebabkan oleh sifat magnetik material inti besi yang tidak ideal, yang dapat dirumuskan[6]:

$$Ph = Kh \cdot f \cdot B_{max} \quad (19)$$

Dimana :

Ph = Rugi Histeresis  
Kh = Konstanta Histeresis  
f = frekuensi  
Bmax = Kerapatan Fluks maksimum

### 2.7.2. Rugi kumparan

Rugi kumparan atau rugi tembaga adalah salah satu jenis kerugian energi yang terjadi pada trafo. Berbeda dengan rugi inti (yang disebabkan oleh sifat magnetik inti besi), rugi kumparan disebabkan oleh resistansi listrik dari kawat tembaga yang digunakan untuk membuat kumparan primer dan sekunder[7].

$$PCU = I^2 \cdot R \quad (20)$$

Dimana :

PCU = Rugi tembaga  
I = Arus (Amper)  
R = Resistansi kumparan ( $\Omega$ )

Rugi tembaga bergantung pada beban sehingga arus beban dapat berubah-ubah. Adapun untuk menentukan rugi tembaga pada beban yang berubah-ubah sebagai berikut[8]:

$$Pt2 = \left(\frac{S2}{S1}\right)^2 X Pt1 \quad (21)$$

Dimana:

- Pt2 : rugi-rugi tembaga
- S2 : Daya semu
- S1 : nilai pengenal transformator
- Pt 1 : nilai rugi tembaga pada *nameplate*

### 2.7.3. Rugi arus netral pada transformator

Ketika transformator mengalami perbedaan fasa atau pun tegangan akan terjadi ketidakseimbangan beban sehingga Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi). Sehingga dapat diketahui untuk mencari rugi arus netral dapat menggunakan persamaan berikut[5]:

$$PN = IN^2 \cdot RN \quad (22)$$

Keterangan:

- PN = Rugi arus netral penghantar trafo (watt)
- IN = nilai Arus netral trafo (A)
- RN = nilai tahanan netral penghantar trafo (ohm)

Adapun untuk mengetahui nilai tahanan pada penghantar netral dapat menggunakan persamaan berikut[9]:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (23)$$

Keterangan:

- R: Resistansi penghantar (ohm)
- $\rho$ : Resistivitas bahan (ohm.meter)
- L: Panjang konduktor (meter)
- A: Luas penampang konduktor (meter persegi)

Untuk mengetahui persentase kerugian yang disebabkan oleh aliran arus netral pada penghantar transformator, rugi tembaga, dan rugi inti. Rumus berikut dapat

digunakan untuk menghitung persentase kerugian yang disebabkan oleh rugi-rugi daya tersebut[7]:

$$P_{Losses} = \frac{P_{Losses}}{P} \times 100\% \quad (24)$$

Keterangan:

$P_{Losses}$  : Total rugi-rugi daya pada transformator

$P$  : Daya aktif

## 2.8. Efisiensi Transformator

Efisiensi trafo menunjukkan seberapa banyak energi listrik yang berhasil diubah dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Ini bisa di artikan sebagai perbandingan daya listrik yang masuk (daya primer) dan daya listrik yang keluar (daya sekunder) pada transformator. Meskipun transformator ideal memiliki efisiensi seratus persen, efisiensi sebenarnya kurang dari seratus persen karena rugi-rugi yang mengubah energi listrik menjadi energi panas atau gerak sehingga menyebabkan berkurang nya efisiensi.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (25)$$

Untuk menghitung Efisiensi transformator saat berbeban menurut SPLN 50 tahun 1997[10]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugi-rugi}} \times 100\% \quad (26)$$

Keterangan :

$\eta$  : persentase Efisiensi Transformator

$P_{in}$  : Nilai daya input pada trafo

$P_{out}$  : Nilai daya output pada trafo

$\sum$  Rugi : Nilai Total rugi-rugi pada trafo

## **Bab 3. Metode penelitian**

### **3.1. Metode Perancangan**

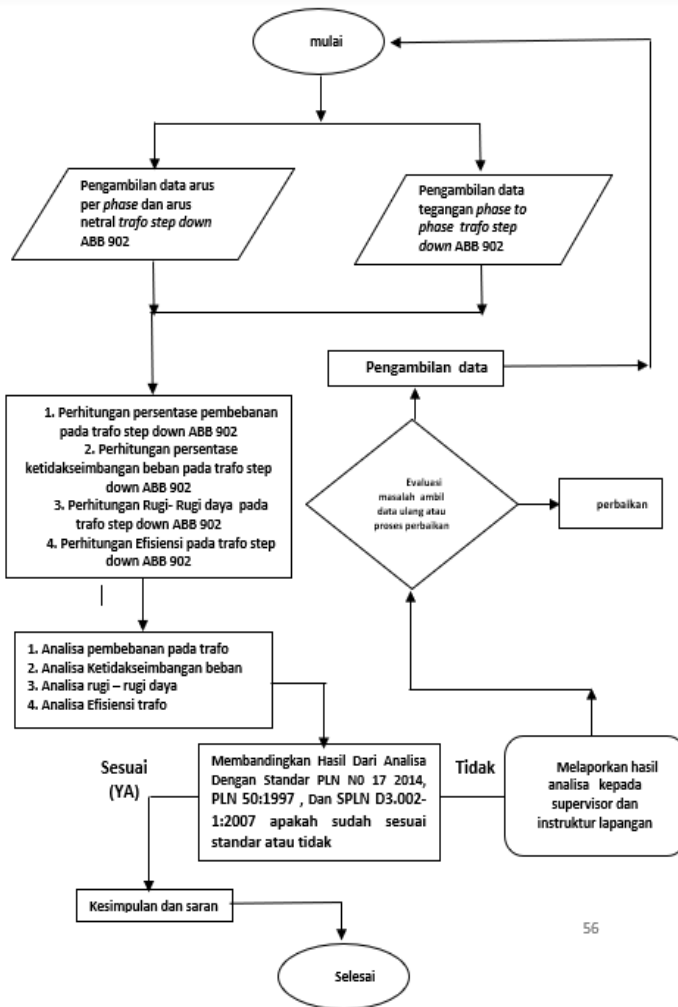
Penulis menggunakan metode pendekatan *kuantitatif* dan komparatif dalam penelitian berjudul "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator *Step Down* di *Switch House* 3 Pt Batamindo Investment Cakrawala. Metode pendekatan *kuantitatif* adalah dengan melibatkan proses pengumpulan data berdasarkan pengukuran mendalam yang dilakukan dalam penelitian ini, kemudian hasil dari pengukuran tersebut disajikan dalam bentuk matematis. Sedangkan jenis metode komparatif ini bertujuan untuk membandingkan hasil percobaan dengan standar yang di tentukan oleh instansi tertentu. dan pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder, pengambilan data primer adalah pengambilan data yang diambil sesuai dengan kondisi yang sesungguhnya pada transformator *step down*, sedangkan pengambilan data sekunder adalah pengambilan data dari studi literatur baik berupa buku, jurnal – jurnal dan melakukan konsultasi serta diskusi dengan dosen pembimbing lapangan dan akademik.

### **3.2. Waktu dan Tempat penelitian**

Dalam proses penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga Desember 2024 di Pt. Batamindo Investment Cakrawala, yang terletak di Kawasan Industri mukakuning Batamindo, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Penelitian ini dilakukan di area *switch house* 3. Adapun objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah Transformator *Step down* jenis ABB dengan kapasitas 630 Kva (Lampiran A no 1).

### **3.3. Langkah – Langkah Penelitian**

Pada penyusunan tugas akhir ini langkah-langkah untuk mengawali penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data arus beban, arus netral dan tegangan pada trafo *step down* ABB 902. Adapun diagram alir proses dalam pengambilan data sebagai berikut.



56

**Gambar 5. Diagram Alir Proses Penelitian analisis ketidakseimbangan beban Pada Trafo Step Down ABB 902**

Gambar 5. merupakan alur yang dilakukan penulis dalam penelitian ini. Proses dimulai dengan pengumpulan data, seperti data arus per *phase*, data arus netral,

data tegangan *phase to phase*, dan data nilai *resistan* pada penampang netral, Langkah selanjutnya ialah menghitung nilai *persentase* pembebanan. Setelah itu dilakukan perhitungan ketidakseimbangan beban pada transformator. Selanjutnya melakukan perhitungan rugi-rugi daya pada transformator yang dilakukan dengan menghitung rugi-rugi daya arus netral, menghitung rugi tembaga dan rugi inti. Setelah di dapatkan total rugi-rugi daya maka selanjutnya dilakukan perhitungan *efisiensi* transformator, kemudian hasil perhitungan disajikan kedalam sebuah tabel. Sesudah itu tahapan selanjutnya penulis melakukan analisis terhadap persentase pembebanan pada transformator guna melihat apakah pembebanan transformator tersebut masih dalam keadaan normal atau tidak. Selanjutnya penulis melakukan analisa ketidakseimbangan beban pada transformator guna untuk melihat apakah kondisi transformator tersebut dalam keadaan seimbang atau tidak.

Selanjutnya penulis melakukan analisa terhadap rugi-rugi daya yang meliputi analisa rugi arus netral guna untuk melihat persentase rugi arus netral, dan penyebab terjadinya arus netral. Kemudian analisa rugi tembaga guna untuk melihat berapa rugi daya yang terbuang pada kumparan trafo, kemudian analisa rugi inti guna melihat seberapa besar pengaruh rugi inti terhadap rugi-rugi daya pada transformator.

Setelah dilakukan nya analisa rugi-rugi daya maka penulis melakukan analisa terhadap *efisiensi* transformator guna untuk melihat seberapa besar kemampuan transformator dalam mentransfer daya dan seberapa besar transformator memiliki *efisiensi* nya sehingga dapat menilai apakah transformator tersebut dalam keadaan normal atau tidak. Selanjutnya hasil analisa di bandingkan dengan standar suatu instansi tertentu dalam hal ini instansi PLN guna untuk mengevaluasi apakah kondisi transformator tersebut dalam keadaan normal atau tidak, jika hasil sesuai analisa dan perhitungan tersebut sesuai dengan standar yang digunakan maka hasil analisa tersebut dapat di tarik sebuah kesimpulan agar dapat menjawab tujuan yang hendak penulis dapatkan

Akan tetapi jika hasil perhitungan dan analisa yang penulis lakukan tidak sesuai dengan standar yang penulis gunakan untuk menilai kondisi pada transformator tersebut, penulis melakukan koordinasi dengan instruktur lapangan atau pun *supervisor* di bagian *elektrik transmisi* guna mendiskusikan hasil yang penulis dapatkan. Selanjutnya penulis menunggu evaluasi dan validasi yang dilakukan oleh instruktur lapangan dan *supervisor* di *elektrik transmisi* terhadap penelitian dan analisa yang sudah penulis lakukan. Jika hasil yang evaluasi yang dilakukan oleh instruktur lapangan dan *supervisor* di *elektrik transmisi* tidak berjauhan beda terhadap hasil analisa penulis maka dilakukan perbaikan atau proses *maintenance* pada transformator, akan tetapi jika hasil evaluasi instruktur lapangan dan *supervisor* terjadi perbedaan yang sangat signifikan maka penulis beserta instruktur lapangan dan *supervisor* di *elektrik maintenance* melakukan perhitungan dan analisa ulang secara bersama-sama.

## Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

### 4.1. Hasil pengumpulan data

Dari pengukuran yang sudah dilakukan didapati hasil untuk arus phase (R, S, T), arus netral dan tegangan pada trafo *step down* pada waktu siang dan sore selama sepuluh (10) hari.

**Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Trafo *Step Down* ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024**

| Siang (12.00) |        |                          |     |     |                             |     |     |
|---------------|--------|--------------------------|-----|-----|-----------------------------|-----|-----|
| November      | IN (A) | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | Tegangan Phase to Phase (V) |     |     |
| Tanggal       | N      | R                        | S   | T   | R-S                         | S-T | R-T |
| 18            | 6      | 229                      | 225 | 227 | 420                         | 420 | 420 |
| 19            | 8      | 133                      | 132 | 132 | 420                         | 420 | 420 |
| 20            | 12     | 135                      | 130 | 131 | 420                         | 420 | 420 |
| 21            | 10     | 231                      | 225 | 225 | 421                         | 421 | 421 |
| 22            | 10     | 231                      | 229 | 226 | 421                         | 421 | 421 |
| 25            | 8      | 241                      | 238 | 237 | 421                         | 421 | 421 |
| 26            | 11     | 134                      | 131 | 132 | 421                         | 421 | 421 |
| 27            | 10     | 142                      | 144 | 141 | 421                         | 421 | 421 |
| 28            | 11     | 124                      | 120 | 121 | 421                         | 421 | 421 |
| 29            | 8      | 218                      | 217 | 220 | 421                         | 421 | 421 |
| Sore (16.00)  |        |                          |     |     |                             |     |     |
| November      | IN (A) | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | Tegangan Phase to Phase (V) |     |     |
| Tanggal       | N      | R                        | S   | T   | R-S                         | S-T | R-T |
| 18            | 11     | 242                      | 238 | 236 | 420                         | 420 | 420 |
| 19            | 8      | 220                      | 218 | 218 | 420                         | 420 | 420 |
| 20            | 10     | 250                      | 247 | 244 | 420                         | 420 | 420 |
| 21            | 8      | 220                      | 218 | 217 | 421                         | 421 | 421 |
| 22            | 11     | 220                      | 217 | 215 | 421                         | 421 | 421 |
| 25            | 10     | 251                      | 248 | 245 | 421                         | 421 | 421 |
| 26            | 11     | 229                      | 225 | 223 | 421                         | 421 | 421 |
| 27            | 10     | 231                      | 229 | 229 | 421                         | 421 | 421 |
| 28            | 6      | 224                      | 225 | 221 | 421                         | 421 | 421 |
| 29            | 10     | 220                      | 221 | 225 | 421                         | 421 | 421 |

Dari hasil pengambilan data pada waktu siang hari periode tanggal 18 November – 29 November beban pada transformator di *switch house* 3 untuk

kegunaan *auxiliary engine* pada PH4, dll. Dapat dilihat pada Tabel 2 waktu siang hari nilai arus per *phase* pada trafo *step down* ABB 902 stabil dan tidak terjadi perubahan nilai arus yang cukup besar. Dalam hal ini juga berlaku pada hasil pengambilan data pada waktu sore hari periode tanggal 18 November – 29 November beban pada transformator di *switch house* 3 untuk kegunaan *auxiliary engine* pada PH4. Dapat dilihat pada Tabel 2 waktu sore hari nilai arus per *phase* pada trafo *step down* ABB 902 stabil dan meskipun terjadi perubahan nilai arus akan terjadi tidak terlalu besar.

**Tabel 3. Data Spesifikasi Transformator**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Nama Pabrik            | ABB       |
| Phase number           | 3         |
| <i>Rated power</i>     | 630 KVa   |
| <i>Frequency</i>       | 50 Hz     |
| Tegangan Primer        | 20000 v   |
| Tegangan sekunder      | 415 v     |
| <i>Connection type</i> | DYN11     |
| <i>Colling type</i>    | ONAN      |
| Rugi inti /PO          | 919 Watt  |
| Rugi Tembaga           | 6889 Watt |
| Impedansi              | 4.8%      |
| Total weight           | 2350 Kg   |
| Tahun Pembuatan        | 2005      |

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Analisa persentase pembebanan pada transformator

Untuk menghitung arus beban penuh pada trafo (IFL) dapat menggunakan persamaan (9) yaitu:

$$S = 630 \text{ kVA} = 630000 \text{ VA}$$

$$V = 415 \text{ V}$$

$$IFL = \frac{\text{Kapasitas Trafo}}{V \times \sqrt{3}}$$

$$IFL = \frac{630.000 \text{ Va}}{\sqrt{3} \cdot 415 \text{ V}} = 876,45 \text{ A}$$

Diketahui hasil diatas terlihat bahwa arus beban penuh transformator adalah: 876,45 A

Untuk mengetahui arus rata-rata pada transformator dapat menggunakan rumus persamaan (10). Dalam hal ini data yang digunakan untuk perhitungan menggunakan data pada tanggal 18 november 2024.

### 1. kondisi jam 12.00 WIB

$$I \text{ rata - rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$IAvr = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$IAvr = \frac{229 + 225 + 227}{3} = 227.00 \text{ A}$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan nilai IFL dari trafo dan I rata-rata, maka dapat dihitung nilai persentase pembebanan trafo dengan menggunakan persamaan (11) berikut:

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I \text{ rata - rata}}{I \text{ Beban penuh}} \times 100$$

$$\% \text{pembebanan} = \frac{227.00 \text{ A}}{876,45 \text{ A}} \times 100$$

$$\% \text{pembebanan} = 25,89\%$$

### 2. kondisi jam 16.00 WIB

$$IAvr = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$IAvr = \frac{242 + 238 + 236}{3} = 238.67 \text{ A}$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan nilai IFL dari trafo dan I rata-rata, maka dapat dihitung nilai persentase pembebanan trafo dengan menggunakan persamaan (11) berikut:

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{Beban penuh}}} \times 100$$

$$\% \text{pembebanan} = \frac{238,67}{876,45} \times 100$$

$$\% \text{pembebanan} = 27,23 \%$$

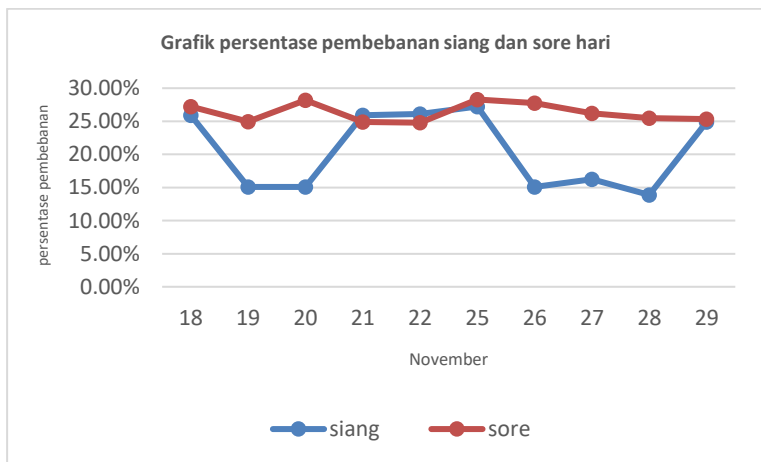
Untuk hasil pengolahan data nilai persentase pembebanan trafo *step down* ABB 902 pada waktu siang dan sore hari periode 18 November – 29 november dapat dilihat pada tabel 4 yaitu sebagai berikut.

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Persentase Pembebanan Trafo Step Down ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024**

| Siang (12.00) |                          |     |     |                 |         |                                   |
|---------------|--------------------------|-----|-----|-----------------|---------|-----------------------------------|
| Tanggal       | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | I rata-rata (A) | IFL (A) | Nilai Persentase pembebanan Trafo |
|               | R                        | S   | T   |                 |         |                                   |
| 18            | 229                      | 225 | 227 | 227.00          | 876.45  | 25.89 %                           |
| 19            | 133                      | 132 | 132 | 132.33          | 876.45  | 15.09 %                           |
| 20            | 135                      | 130 | 131 | 132.00          | 876.45  | 15.06 %                           |
| 21            | 231                      | 225 | 225 | 227.00          | 876.45  | 25.89 %                           |
| 22            | 231                      | 229 | 226 | 228.67          | 876.45  | 26.09 %                           |
| 25            | 241                      | 238 | 237 | 238.67          | 876.45  | 27.23 %                           |
| 26            | 134                      | 131 | 132 | 132.33          | 876.45  | 15.09 %                           |
| 27            | 142                      | 144 | 141 | 142.33          | 876.45  | 16.23 %                           |
| 28            | 124                      | 120 | 121 | 121.67          | 876.45  | 13.88 %                           |
| 29            | 218                      | 217 | 220 | 218.33          | 876.45  | 24.91 %                           |
| Sore (16.00)  |                          |     |     |                 |         |                                   |
| Tanggal       | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | I rata-rata (A) | IFL (A) | Nilai Persentase Pembebanan Trafo |
|               | R                        | S   | T   |                 |         |                                   |
| 18            | 242                      | 238 | 236 | 238.67          | 876.45  | 27.23 %                           |

|    |     |     |     |        |        |         |
|----|-----|-----|-----|--------|--------|---------|
| 19 | 220 | 218 | 218 | 218.67 | 876.45 | 24.94 % |
| 20 | 250 | 247 | 244 | 247.00 | 876.45 | 28.18 % |
| 21 | 220 | 218 | 217 | 218.33 | 876.45 | 24.91 % |
| 22 | 220 | 217 | 215 | 217.33 | 876.45 | 24.79 % |
| 25 | 251 | 248 | 245 | 248.00 | 876.45 | 28.29 % |
| 26 | 229 | 225 | 223 | 225.67 | 876.45 | 27.74 % |
| 27 | 231 | 229 | 229 | 229.67 | 876.45 | 26.20 % |
| 28 | 224 | 225 | 221 | 223.33 | 876.45 | 25.48 % |
| 29 | 220 | 221 | 225 | 222.00 | 876.45 | 25.32 % |

Dari hasil perhitungan data pada waktu siang dan sore hari periode tanggal 18 November – 29 November pada transformator ABB 902 di *switch house* 3, dapat diketahui berapa besar arus eban penuh pada trafo, berapa rata rata arus pada trafo dan kemudian dapat diketahui berapa persentase pembebanan pada trafo. Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai persentase pembebanan trafo *step down* ABB 902 pada waktu siang dan sore (18 November – 29 November 2024) akan seperti pada Gambar berikut ini :



**Gambar 6. Grafik Nilai Persentase Pembebanan Trafo Step Down ABB 902**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan pada dua minggu pada tanggal 18 November - 29 november 2024 jam 12:00 dan 16:00 dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar grafik 6. Hasil perhitungan nilai persentase pembebanan pada trafo *step down* ABB 902 yaitu sebesar 13% - 29% masih dibawah 80%, artinya pada hasil

pengolahan data nilai persentase pembebanan trafo *step down* ABB 902 pada dua minggu pengukuran yaitu waktu siang dan sore hari tidak mengalami beban berlebih, karena nilai persentase pembebanan trafo masih dibawah 80%. Jika merujuk pada standar PLN no 17 tahun 2014 yang di paparkan pada tabel (1) bahwa persentase pembebanan dibawah 80% masih dalam kondisi aman. Sedangkan jika melihat dari hasil persentase pembebanan pada trafo terbesar terjadi pada waktu sore hari hal ini menunjukkan bahwa beban puncak pada trafo ABB 902 terjadi pada waktu sore hari mau menuju ke malam dikarenakan pemakaian beban yang meningkat selain untuk digunakan *auxiliary* pada *power house 4*, untuk kebutuhan area *switch house 3*, ruang *control* pada *power house 4* dan penerangan area *power house 4*.

#### 4.2.2. Analisa ketidakseimbangan beban trafo

Analisis ketidakseimbangan beban adalah langkah penting dalam menjaga kualitas dan kehandaan sistem tenaga Listrik *power house* batamindo investment cakrawala. Karena ketidakseimbangan beban dapat mempengaruhi kinerja transformator. Dalam perhitungan untuk mencari nilai ketidakseimbangan ini menggunakan persamaan (12), (13) dan (14). Adapun data yang digunakan dalam perhitungan ini menggunakan data pada tanggal 18 november 2024. Besarnya ketidakseimbangan beban dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien sebagai berikut ini.

##### 1. Kondisi jam 12. 00

$$IR = 229 A$$

$$IS = 225 A$$

$$IT = 227A$$

$$I \text{ rata - rata jam } 12:00 = 227A$$

$$IR = a. I \text{ maka } a = \frac{229}{227} = 1,00 A$$

$$IS = b. I \text{ maka } b = \frac{225}{227} = 0,99 A$$

$$IT = c. I \text{ maka } c = \frac{227}{227} = 1,00A$$

Jadi untuk menghitung nilai persentase ketidakseimbangan beban dapat menggunakan persamaan (15), besar nya persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$\text{Ketidakseimbangan beban} = \frac{[a - 1] + [b - 1] + [c - 1]}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ ketidakseimbangan beban} = \frac{(|1,00-1| + |0,99-1| + |1,00-1|)}{3} \times 100$$

$$\% \text{ ketidakseimbangan beban} = 0,003 \times 100 = 0,3 \%$$

## 2. Kondisi jam 16.00

$$IR = 242 \text{ A}$$

$$IS = 238 \text{ A}$$

$$IT = 236 \text{ A}$$

$$I \text{ rata - rata jam 16:00} = 238,67 \text{ A}$$

$$IR = a.I \text{ maka } a = \frac{242}{238,67} = 1,01 \text{ A}$$

$$IS = b.I \text{ maka } b = \frac{238}{238,67} = 0,99 \text{ A}$$

$$IT = c.I \text{ maka } c = \frac{236}{238,67} = 0,98 \text{ A}$$

Jadi untuk menghitung nilai persentase ketidakseimbangan beban dapat menggunakan persamaan (15), besar nya persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$\text{Ketidakseimbangan beban} = \frac{[a - 1] + [b - 1] + [c - 1]}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ ketidakseimbangan beban} = \frac{(|1,01-1| + |0,99-1| + |0,98-1|)}{3} \times 100$$

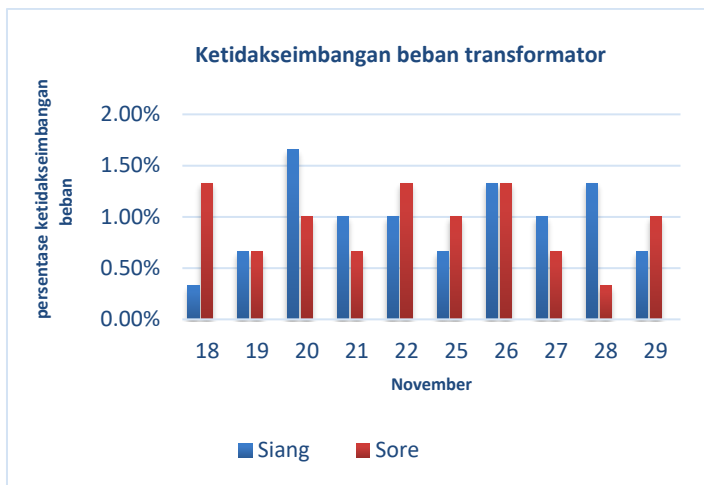
$$\% \text{ ketidakseimbangan beban} = 1,3 \%$$

Untuk hasil pengolahan data nilai persentase ketidakseimbangan beban *trafo step down* ABB 902 pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu siang dan sore hari dapat dilihat pada tabel 5 yaitu sebagai berikut.

**Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Persentase Ketidakseimbangan Beban Trafo Step Down ABB (902) waktu siang dan sore 18 November s/d 29 november 2024**

| Siang (12.00) |                          |     |     |                 |                |                |                |  |
|---------------|--------------------------|-----|-----|-----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Tanggal       | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | I rata-rata (A) | IR/I rata-rata | IS/I rata-rata | IT/I rata-rata | Nilai Persentase Ketidakseimbangan Beban Trafo |
|               | R                        | S   | T   |                 |                |                |                |  |
| 18            | 229                      | 225 | 227 | 227.00          | 1.00           | 0.99           | 1.00           | 0.33 %   |
| 19            | 133                      | 132 | 132 | 132.33          | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.66 %   |
| 20            | 135                      | 130 | 131 | 132.00          | 1.02           | 0.98           | 0.99           | 1.66 %   |
| 21            | 231                      | 225 | 225 | 227.00          | 1.01           | 0.99           | 0.99           | 1 %  |
| 22            | 231                      | 229 | 226 | 228.67          | 1.01           | 1.00           | 0.98           | 1 %  |
| 25            | 241                      | 238 | 237 | 238.67          | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.66 %   |
| 26            | 134                      | 131 | 132 | 132.33          | 1.01           | 0.98           | 0.99           | 1.33 %   |
| 27            | 142                      | 144 | 141 | 142.33          | 0.99           | 1.01           | 0.99           | 1 %  |
| 28            | 124                      | 120 | 121 | 121.67          | 1.01           | 0.98           | 0.99           | 1.33 %   |
| 29            | 218                      | 217 | 220 | 218.33          | 0.99           | 0.99           | 1.00           | 0.66 %   |
| Sore (16.00)  |                          |     |     |                 |                |                |                |  |
| Tanggal       | Arus per Phase Trafo (A) |     |     | I rata-rata (A) | IR/I rata-rata | IS/I rata-rata | IT/I rata-rata | Nilai Persentase Ketidakseimbangan Beban Trafo |
|               | R                        | S   | T   |                 |                |                |                |  |
| 18            | 242                      | 238 | 236 | 238.67          | 1.01           | 0.99           | 0.98           | 1.33 %   |
| 19            | 220                      | 218 | 218 | 218.67          | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.66 %   |
| 20            | 250                      | 247 | 244 | 247.00          | 1.01           | 1.00           | 0.98           | 1 %  |
| 21            | 220                      | 218 | 217 | 218.33          | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.66 %   |
| 22            | 220                      | 217 | 215 | 217.33          | 1.01           | 0.99           | 0.98           | 1.33 %   |
| 25            | 251                      | 248 | 245 | 248.00          | 1.01           | 1.00           | 0.98           | 1 %  |
| 26            | 229                      | 225 | 223 | 225.67          | 1.01           | 0.99           | 0.98           | 1.33 %   |
| 27            | 231                      | 229 | 229 | 229.67          | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.66 %   |
| 28            | 224                      | 225 | 221 | 223.33          | 1.00           | 1.00           | 0.99           | 0.33 %   |
| 29            | 220                      | 221 | 225 | 222.00          | 0.99           | 0.99           | 1.01           | 1 %  |

Pada tabel 5 dapat dilihat nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo ABB 902, adapun hasil persentase ketidakseimbangan beban pada trafo hasil dari perhitungan koefisien pada trafo dimana koefisien ini adalah pembagian arus pada fasa ( R, S, T ) dibagi dengan arus-rata sehingga didapatkanlah hasil dari koefisien pada trafo sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo ABB 902. Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo *step down* ABB 902 untuk waktu siang dan sore hari (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7. Grafik Persentase Ketidakseimbangan Beban**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu siang dan sore hari (18 November – 29 November 2024) dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar grafik 7. Hasil perhitungan nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo *step down* ABB 902 yaitu sebesar 0% - 2%, diketahui hasil persentase ketidakseimbangan beban pada trafo masih dibawah 10% artinya trafo *step down* ABB 902 tidak mengalami ketidakseimbangan beban yang terlalu besar karena nilai persentase beban tidak seimbang pada trafo ABB 902 masih dibawah 10%. Jika dilihat dari hasil grafik maka dapat dianalisis bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada transformator ABB pada *switch house* 3 memiliki rata rata dibawah 10 %.

berlandaskan pada standar ketidakseimbangan yang dianjurkan PLN yang tertera pada tabel (1) maka transformator masih berada dalam kondisi baik dikarenakan dari dua minggu pengukuran didapatkan hasil yang masih dalam standar kondisi normal yaitu rata rata dibawah <10%. Ketidakseimbangan beban sangat lah berpengaruh terhadap kinerja transformator yang mana apabila transformator memiliki persentase ketidakseimbangan beban yang besar maka dapat membuat operasional pada transformator terganggu dampaknya dapat menyebabkan penurunan kinerja trafo, peningkatan biaya operasional, dan bahkan kerusakan peralatan listrik. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya pencegahan dan mengatasi masalah ini agar sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan optimal. Adapun untuk pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap kinerja trafo jika dilihat dari hasil perhitungan ketidakseimbangan diatas bahwa persentase ketidakseimbangan pada trafo ABB 902 masih normal jika mengacu pada standar PLN pada tabel (1) tahun 2014.

### 4.2.3. Analisa rugi-rugi daya trafo

#### 1. Perhitungan rugi – rugi daya akibat adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral

Karena pemakaian atau transformator bekerja secara optimal pada jam-jam tersebut, perhitungan rugi daya akibat arus netral menggunakan data pengukuran siang dan sore. Untuk transformator ABB 902 pada penghantar netral yang digunakan memiliki ukuran luas penampang 630 mm<sup>2</sup>, Panjang penghantar sebesar 55 meter dan bahan penghantar: Tembaga dengan *Resistivitas* tembaga ( $\rho$ ) =  $1,68 \times 10^{-8}$  ohm.meter (dapat dilihat pada tabel nilai *resistivitas* penghantar yang terdapat pada lampiran C no 1), sistem pentanahan nya langsung. Data yang digunakan untuk perhitungan ini diambil dari data yang diambil pada tanggal 18 November 2024. Adapun untuk menghitung besar rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral yang mengalir melalui penghantar netral dapat menggunakan persamaan (22):

##### a. kondisi jam 12.00

$$PN = IN^2 \cdot RN$$

Sebelum didapatkan berapa besar rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral maka dapat terlebih dahulu dicari nilai resistansi netral nya dengan menggunakan persamaan (23).

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Diketahui:

Luas penampang (A) :  $630 \text{ mm}^2 = 630 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Panjang penghantar (L) : 55 m

Bahan penghantar : Tembaga

Resistivitas tembaga ( $\rho$ ) :  $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (Lampiran C)

$$R = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \times \frac{55}{630 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$R = 0,00146 \Omega$$

jadi, nilai resistansi penghantar netral pada trafo ABB 902 adalah sekitar 0,00146 ohm, setelah mengetahui nilai resistansi pada penghantar netral maka dapat diketahui besar rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral sebagai berikut.

$$PN = IN^2 \cdot RN$$

$$PN = 6^2 \cdot 0,00146$$

$$PN = 0,05256 \text{ watt}$$

#### **b. kondisi jam 16.00**

$$PN = IN^2 \cdot RN$$

Sebelum didapatkan berapa besar rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral maka dapat terlebih dahulu dicari nilai resistansi netral nya dengan menggunakan persamaan (23).

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Diketahui:

Luas penampang (A) :  $630 \text{ mm}^2 = 630 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Panjang penghantar (L) : 55 m

Bahan penghantar : Tembaga

Resistivitas tembaga ( $\rho$ ) :  $1.68 \times 10^{-8} \Omega.m$  (Lampiran C)

$$R = 1.68 \times 10^{-8} \Omega.m \times \frac{55}{630 \times 10^{-6} m^2}$$

$$R = 0,00146 \Omega$$

jadi, nilai resistansi penghantar netral pada trafo ABB 902 adalah sekitar 0,00146 *ohm*, setelah mengetahui nilai resistansi pada penghantar netral maka dapat diketahui besar rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral sebagai berikut.

$$PN = I^2.0,00146$$

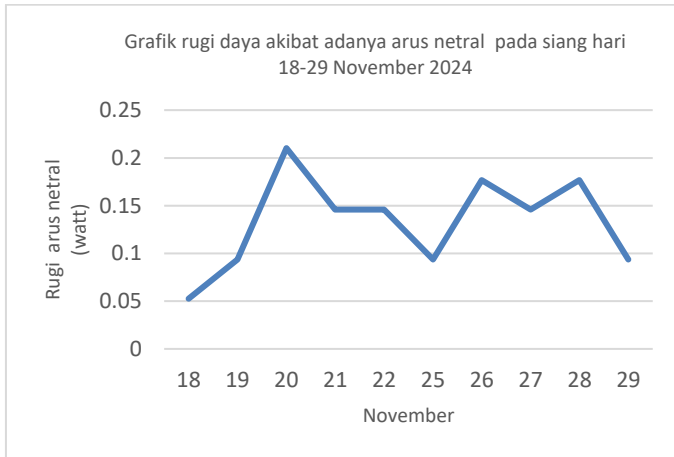
$$PN = 0,17666 \text{ watt}$$

Dari hasil pengolahan data rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral pada *trafo step* down ABB 902 yang dilakukan perhitungan pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu siang hari dapat dilihat pada tabel 6 yaitu sebagai berikut.

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Akibat Arus Netral Trafo Step Down ABB (902) waktu siang (18 November s/d 29 november 2024)**

| Rugi – Rugi Arus Netral |                             |                 |  |   |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------|--|---|
| Tanggal                 | Siang (12.00)               |                 |  | Rugi -Rugi Daya pada penghantar netral (Watt) |
|                         | Ketidakseimbangan Beban (%) | Arus Netral (A) | Resistan pada penghantar netral ( $\Omega$ ) |   |
| 18                      | 0.33 %                      | 6               | 0,00146                                      | 0.05256                                       |
| 19                      | 0.66 %                      | 8               | 0,00146                                      | 0.09344                                       |
| 20                      | 1.66 %                      | 12              | 0,00146                                      | 0.210224                                      |
| 21                      | 1 %                         | 10              | 0,00146                                      | 0.146   |
| 22                      | 1 %                         | 10              | 0,00146                                      | 0.146   |
| 25                      | 0.66 %                      | 8               | 0,00146                                      | 0.09344                                       |
| 26                      | 1.33 %                      | 11              | 0,00146                                      | 0.17666                                       |
| 27                      | 1 %                         | 10              | 0,00146                                      | 0.146   |
| 28                      | 1.33 %                      | 11              | 0,00146                                      | 0.17666                                       |
| 29                      | 0.66 %                      | 8               | 0,00146                                      | 0.09344                                       |

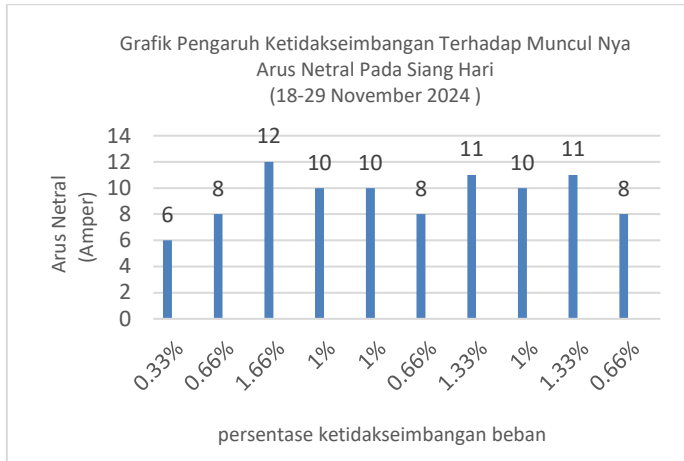
Dapat dilihat hasil perhitungan analisa rugi arus netral bahwa pada hasil analisa dan perhitungan tersebut didapatkan lah hasil berupa besarnya rugi daya pada trafo yang disebabkan oleh mengalir nya arus netral pada penghantar neral. Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral pada trafo *step down* ABB (902) untuk waktu siang (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 8.



**Gambar 8. Grafik rugi daya yang disebabkan adanya arus netral**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu siang hari (18 November – 29 November 2024) dapat dilihat pada gambar grafik 8 dan Tabel 6. Menunjukkan adanya rugi-rugi daya arus netral yang mengalir pada penghantar netral, rugi arus netral itu sendiri ideal nya adalah 0 tetapi pada aktual nya pada trafo ABB 902 pada bagian penghantar netral nya mengalir arus netral. Arus netral ini terjadi akibat adanya ketidakseimbangan beban pada trafo sehingga mengakibatkan muncul arus netral yang mengalir di penghantar netral sehingga menyebabkan adanya rugi-rugi daya pada trafo ABB 902.

Adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral disebabkan dengan adanya beban tidak seimbang antara fasa (R, S, T ). Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban pada trafo maka semakin besar arus netral yang mengalir pada penghantar netral,berikut dapat dilihat pengaruh adanya beban tidak seimbang terhadap munculnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral trafo.



**Gambar 9. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral**

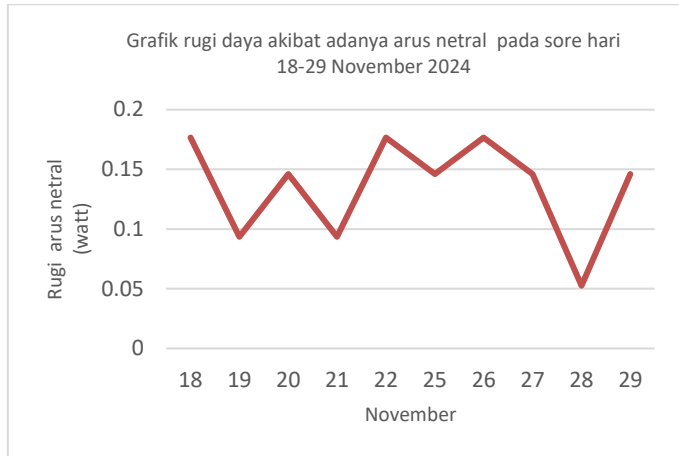
Dari gambar grafik 9 Menunjukkan bahwa adanya arus netral yang terjadi pada transformator ABB 902 sangat lah berkaitan dengan persentase ketidakseimbangan beban. Meningkatnya keadaan ketidakseimbangan beban pada transformator maka terjadi juga peningkatan adanya arus netral yang berada pada penghantar netral, sehingga dapat mengakibatkan kenaikan rugi rugi daya. Kenaikan rugi rugi daya transformator adalah akibat dari semakin besar nya arus netral yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban. Jika melihat pada tabel grafik diatas dapat terlihat semakin tinggi ketidakseimbangan beban pada transformator maka semakin besar adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral ataupun sebaliknya semakin rendah persentase ketidakseimbangan beban pada transformator maka semakin rendah adanya arus netral. Dapat dilihat bahwa pengaruh ketidakseimbangan terhadap rugi arus netral terbesar terjadi pada tanggal 20 november yang dimana ketidakseimbangan pada tanggal 20 november pada siang hari sebesar 1.6 % dengan menyebabkan adanya arus netral sebesar 12 A. Sedangkan persentase terendah rugi daya arus netral yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban terjadi pada tanggal 18 november dengan rugi arus netral sebesar 6 A dengan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 0.33 %.

Dari hasil pengolahan data rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral pada *trafo step* down ABB 902 yang dilakukan perhitungan pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu sore hari dapat dilihat pada tabel 7 yaitu sebagai berikut.

**Tabel 7. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Akibat Arus Netral Trafo *Step Down* ABB (902) waktu sore (18 November s/d 29 november 2024)**

| Rugi-Rugi Arus Netral |                            |                |  |   |
|-----------------------|----------------------------|----------------|--|---|
| Tanggal               | Sore (16.00)               |                |  | Rugi -Rugi Daya pada penghantar netral (watt) |
|                       | Ketidakeimbangan Beban (%) | Arus Netra (A) | Resistan pada penghantar netral ( $\Omega$ ) |   |
| 18                    | 1.33 %                     | 11             | 0,00146                                      | 0.17666                                       |
| 19                    | 0.66 %                     | 8              | 0,00146                                      | 0.09344                                       |
| 20                    | 1 %                        | 10             | 0,00146                                      | 0.146   |
| 21                    | 0.66 %                     | 8              | 0,00146                                      | 0.09344                                       |
| 22                    | 1.33 %                     | 11             | 0,00146                                      | 0.17666                                       |
| 25                    | 1 %                        | 10             | 0,00146                                      | 0.146   |
| 26                    | 1.33 %                     | 11             | 0,00146                                      | 0.17666                                       |
| 27                    | 0.66 %                     | 10             | 0,00146                                      | 0.146   |
| 28                    | 0.33 %                     | 6              | 0,00146                                      | 0.05256                                       |
| 29                    | 1 %                        | 10             | 0,00146                                      | 0.146   |

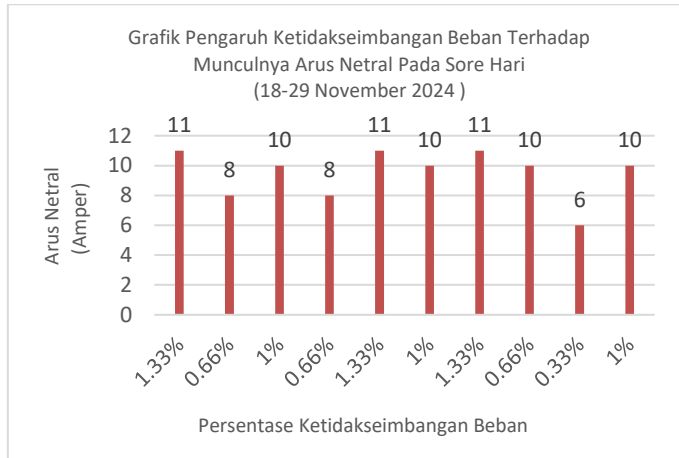
Dapat dilihat hasil perhitungan analisa rugi arus netral bahwa pada hasil analisa dan perhitungan tersebut didapatkan hasil berupa besarnya rugi daya pada trafo yang disebabkan oleh mengalir nya arus netral pada penghantar netral. Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral pada trafo *step down* ABB (902) untuk waktu sore (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10. Grafik rugi daya yang disebabkan adanya arus netral**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu sore hari (18 November – 29 November 2024 dapat dilihat pada gambar grafik 10 dan Tabel 7. Menunjukkan adanya rugi-rugi daya arus netral yang mengalir pada penghantar netral, rugi arus netral itu sendiri ideal nya adalah 0 tetapi pada aktual nya pada trafo ABB 902 pada bagian penghantar netral nya mengalir arus netral. Arus netral ini terjadi akibat adanya ketidakseimbangan beban pada trafo sehingga mengakibatkan muncul arus netral yang mengalir di penghantar netral sehingga menyebabkan adanya rugi-rugi daya pada trafo ABB 902.

Adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral disebabkan dengan adanya beban tidak seimbang antara fasa (R, S, T ). Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban pada trafo maka semakin besar arus netral yang mengalir pada penghantar netral,berikut dapat dilihat pengaruh adanya beban tidak seimbang terhadap munculnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral trafo.



**Gambar 11. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral**

Dari gambar grafik 11 Menunjukkan bahwa adanya arus netral yang terjadi pada transformator ABB 902 sangat lah berkaitan dengan persentase ketidakseimbangan beban. Meningkatnya keadaan ketidakseimbangan beban pada transformator maka terjadi juga peningkatan adanya arus netral yang berada pada penghantar netral, sehingga dapat mengakibatkan kenaikan rugi rugi daya. Kenaikan rugi rugi daya transformator adalah akibat dari semakin besar nya arus netral yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban. Jika melihat pada tabel grafik diatas dapat terlihat semakin tinggi ketidakseimbangan beban pada transformator maka semakin besar adanya arus netral yang mengalir di penghantar netral ataupun sebaliknya semakin rendah persentase ketidakseimbangan beban pada transformator maka semakin rendah adanya arus netral. Jika dilihat rata rata ketidakseimbangan beban pada waktu sore hari sebesar 1.33% dengan arus netral sebesar 11 A.

## **2. Perhitungan rugi – rugi daya akibat rugi tembaga**

Perhitungan rugi tembaga dapat menggunakan data rugi tembaga yang terdapat pada tabel (3) data spesifikasi transformator. Sebelum proses perhitungan rugi tembaga dilakukan terlebih dahulu dilakukan perhitungan daya semu pada transformator sehingga dapat dimasukkan ke persamaan (21) agar dapat mencari rugi tembaga saat transformator berbeban.

### a. Kondisi jam 12.00

Berdasarkan perhitungan arus dan tegangan sekunder pada tanggal 18 november 2024 maka besar daya semu dapat dihitung dengan persamaan (7) berikut.

$$S = \sqrt{3} \times V_s \times I_{rata\ rata} - \text{bagian sekunder}$$

$$S = \sqrt{3} \times 420 \times 227$$

$$S = 165.133,72 \text{ Va}$$

Setelah diketahui hasil perhitungan daya semu pada tanggal 18 november pada pukul 12.00. serta nilai pengenal transformator yaitu 630 Kva. Maka besar rugi tembaga pada saat berbeban sebesar:

$$Pt2 = \left( \frac{S2}{S1} \right)^2 \times Pt1$$

$$Pt2 = \left( \frac{165.133,72}{630.000} \right)^2 \times 6889$$

$$Pt2 = 473,311 \text{ watt}$$

### b. Kondisi jam 16.00

Berdasarkan perhitungan arus dan tegangan sekunder pada tanggal 18 november 2024 maka besar daya semu dapat dihitung dengan persamaan (7) untuk kondisi pada pukul 16. 00:

$$S = \sqrt{3} \times V_s \times I_s$$

$$S = \sqrt{3} \times 420 \times 238,67$$

$$S = 173.623,19 \text{ Va}$$

Setelah perhitungan daya semu maka besar rugi tembaga saat berbeban dapat dihitung dengan persamaan (21) sebesar:

$$Pt2 = \left( \frac{S2}{S1} \right)^2 \times Pt1$$

$$Pt2 = \left( \frac{173.623,19}{630.000} \right)^2 \times 6889$$

$$Pt2 = 523,22 \text{ watt}$$

Dari hasil pengolahan data rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya rugi tembaga pada *trafo step down* ABB 902 yang dilakukan perhitungan pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu siang dan sore hari dapat dilihat pada tabel 8 yaitu sebagai berikut.

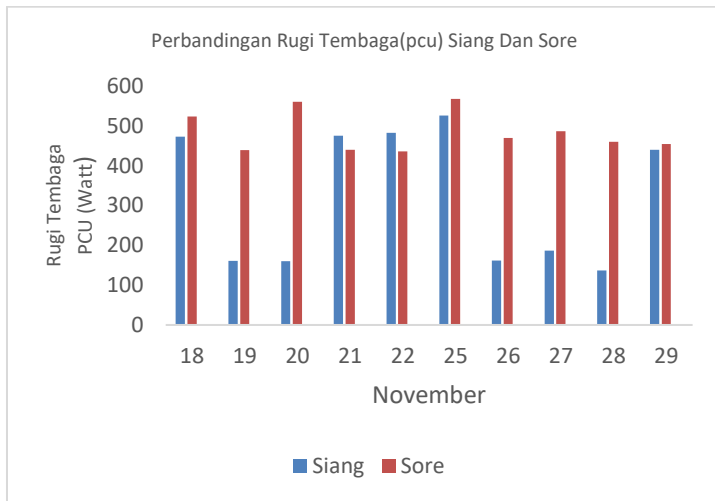
**Tabel 8. Hasil Perhitungan Rugi Tembaga Pada Trafo Step Down ABB 902 Waktu Siang Dan Sore 18 November S/D 29 November 2024**

| Tanggal | Siang (12.00)  |            |           | Sore (16.00)   |            |           |
|---------|----------------|------------|-----------|----------------|------------|-----------|
|         | Daya semu (VA) | PCU (watt) | Pi (waat) | Daya semu (VA) | PCU (watt) | Pi (watt) |
| 18      | 165.133,72     | 473.31     | 919       | 173.623,19     | 523.22     | 919       |
| 19      | 96.264,95      | 160.84     |           | 159.073,97     | 439.21     |           |
| 20      | 96.024,89      | 160.04     |           | 179.682,95     | 560.38     |           |
| 21      | 165.526,89     | 475.56     |           | 159.204,79     | 439.93     |           |
| 22      | 166.744,65     | 482.59     |           | 158.475,59     | 435.91     |           |
| 25      | 174.036,58     | 525.72     |           | 180.839,96     | 567.62     |           |
| 26      | 96.494,16      | 161.61     |           | 164.557,07     | 470.01     |           |
| 27      | 103.786,09     | 186.96     |           | 167.473,84     | 486.82     |           |
| 28      | 88.720,95      | 136.62     |           | 162.850,75     | 460.31     |           |
| 29      | 159.204,79     | 439.93     |           | 161.880,93     | 454.84     |           |

Pada tabel 8 dapat dijelaskan bahwa rugi-rugi daya yang ada pada *trafo* ABB 902 selain dari rugi arus netral (PN) ada juga terdapat rugi tembaga (PCU), dan rugi inti (Pi). Jika dilihat dari hasil berikut dapat disimpulkan bahwa rugi tembaga disebabkan oleh adanya konversi energi listrik menjadi energi panas akibat *resistensi* listrik dari lilitan *primer* dan *sekunder*. Adapun rugi pada trafo yang lainnya ialah rugi inti, rugi inti adalah rugi yang tidak terpengaruhi oleh beban yang

*fluaktif*. Adanya rugi-rugi daya ini dapat mempengaruhi kinerja trafo tergantung seberapa besar persentase rugi-rugi dayanya. Semakin besar terjadi rugi-rugi daya menandakan bahwa kemampuan dari trafo tersebut sudah berkurang baik dari *operasionalnya* atau pun *efisiensinya* trafo tersebut.

Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai rugi-rugi daya yang disebabkan oleh rugi tembaga pada trafo *step down* ABB 902 untuk waktu siang dan sore (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 12.



**Gambar 12. Grafik rugi-rugi tembaga pada siang dan sore**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu siang dan sore (18 November – 29 November 2024) dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar grafik 12. Dari hasil analisa rugi-rugi tembaga pada trafo ABB 902 diketahui bahwa rugi tembaga itu sendiri disebabkan oleh banyak faktor bisa disebabkan oleh bahan penghantar yang tidak baik, suhu yang meningkat atau pun arus yang mengalir, akan tetapi rugi tembaga sering banyak disebabkan oleh arus yang mengalir karena Semakin besar arus yang mengalir melalui belitan, semakin besar pula panas yang dihasilkan karena panas sebanding dengan kuadrat arus. Rugi tembaga itu sendiri mempunyai dampak yang begitu buruk terhadap kinerja transformator karena selain dapat mempercepat masa umur pakai transformator, rugi tembaga juga dapat mempengaruhi *efisiensinya* dari transformator karena energi yang terbuang sebagai panas mengurangi *efisiensinya* transformator dalam mengubah tegangan sehingga rugi tembaga yang besar akan meningkatkan biaya operasional karena konsumsi energi yang lebih tinggi.

Jika dilihat dari hasilnya rata rata kerugian daya yang disebabkan oleh rugi tembaga cenderung meningkat diwaktu sore hari dikarenakan pada waktu sore hari terjadi beban puncak dimana jika dilihat dari hasil persentase pembebanan bahwa beban meningkat diwaktu sore dikarenakan pemakaian beban juga meningkat. Adapun dalam operasional nya trafo ABB 902 digunakan untuk kebutuhan *auxiliary power house 4*, kebutuhan operasional di *power house 4* seperti *control room*, dan penerangan di *switch house 3*.

Adapun rugi rugi tembaga terbesar terjadi pada waktu sore hari yaitu pada tanggal 25 november sebesar 567.22watt sedangkan rugi rugi tembaga terkecil terjadi pada tanggal 19 november sebesar 439.21 watt. Sedangkan rugi rugi tembaga pada waktu siang hari terbesar terjadi pada tanggal 25 november sebesar 525.72watt dan rugi rugi daya terkecil terjadi pada tanggal 28 november sebesar 136.62 watt.

Apabila untuk mengetahui total dari rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator ABB 902 baik pada waktu siang dan sore dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

### 1. kondisi tanggal 18-11-2024 (Jam 12.00)

Prugi total = Rugi arus netral + Rugi tembaga + Rugi inti

Prugi total = 0.05256 + 473,31 + 919

Prugi total = 1.392,36 watt

Faktor daya yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,85. Secara matematis rumus daya aktif dapat dinyatakan dengan:

$$P = S \times \cos \phi$$

$$P = 630000 \times 0.85$$

$$P = 535.500 \text{ watt}$$

Sehingga di dapatkan persentase rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral, rugi tembaga dan rugi inti pada kondisi tanggal 18-11-2024 (siang) sebagai berikut:

$$\text{Prugi total} = \frac{P_{\text{total losses}}}{P} \times 100\%$$

$$\text{Prugi total} = \frac{1.392,36}{535.500} \times 100\%$$

Prugi total = 0.26 %

## 2. kondisi tanggal 18-11-2024 (jam 16.00)

Prugi total = Rugi arus netral + Rugi tembaga + Rugi inti

Prugi total = 0.17666 + 523,22 + 919

Prugi total = 1.442,39 watt

Sehingga di dapatkan persentase rugi-rugi daya yang disebabkan oleh adanya arus netral, rugi tembaga dan rugi inti pada kondisi tanggal 18-11-2024 (sore) sebagai berikut:

$$\text{Prugi total} = \frac{P_{\text{total losses}}}{P} \times 100\%$$

$$\text{Prugi total} = \frac{1.442,39}{535,500} \times 100\%$$

Prugi total = 0.26 %

Dari hasil pengolahan data rugi-rugi daya pada *trafo step down* ABB 902 yang dilakukan perhitungan pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu siang dan sore hari dapat dilihat pada tabel yaitu sebagai berikut.

**Tabel 9. Total rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 waktu siang hari (18 -29 november 2024)**

| Siang (12.00) |                     |                        |                            |                               |                               |
|---------------|---------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tanggal       | Rugi-Rugi Daya      |                        |                            | Plosses (PN+PCU+Pi)<br>(watt) | Persentase rugi-rugi daya (%) |
|               | Rugi inti<br>(watt) | Rugi tembaga<br>(watt) | Rugi Arus netral<br>(watt) |                               |                               |
| 18            | 919                 | 473.31                 | 0.05256                    | 1.392,36                      | 0.26%                         |
| 19            | 919                 | 160.84                 | 0.09344                    | 1.079,93                      | 0.20%                         |
| 20            | 919                 | 160.04                 | 0.21022                    | 1.079,25                      | 0.20%                         |
| 21            | 919                 | 475.56                 | 0.146                      | 1.394,70                      | 0.26%                         |
| 22            | 919                 | 482.59                 | 0.146                      | 1.401,73                      | 0.26%                         |
| 25            | 919                 | 525.72                 | 0.09344                    | 1.444,81                      | 0.27%                         |
| 26            | 919                 | 161.61                 | 0.17666                    | 1.080,78                      | 0.20%                         |

|    |     |        |         |          |       |
|----|-----|--------|---------|----------|-------|
| 27 | 919 | 186.96 | 0.146   | 1.106,10 | 0.20% |
| 28 | 919 | 136.62 | 0.17666 | 1.055,79 | 0.19% |
| 29 | 919 | 439.93 | 0.09344 | 1.359,02 | 0.25% |

Pada tabel 9 dapat dijelaskan bahwa rugi-rugi daya yang ada pada *trafo* ABB 902 memiliki persentase dibawah 1 %. Baik persentase rugi-rugi daya terdiri dari rugi arus netral, rugi tembaga, rugi inti masih dalam kondisi normal dan tidak melebihi batas normal. Karena menurut standar PLN 50:1997 menetapkan standar rugi-rugi daya pada trafo sebesar 2%, adapun rugi-rugi pada trafo ABB 902 berada dibawah 1% sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 masih dalam keadan normal.

**Tabel 10. Total rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 waktu sore hari  
(18 -29 november 2024)**

| Sore (16.00) |                |              |                     |                                      |  |
|--------------|----------------|--------------|---------------------|--------------------------------------|--|
| Tanggal      | Rugi-Rugi Daya |              |                     | Plosses<br>(PN+PCU+Pi)<br><br>(watt) | Persentase<br>rugi-rugi<br>daya<br><br>(%) |
|              | Rugi inti      | Rugi tembaga | Rugi<br>Arus netral |                                      |  |
|              | (watt)         | (watt)       | (watt)              |                                      |  |
| 18           | 919            | 523.22       | 0.17666             | 1.442,39                             | 0.26%                                      |
| 19           | 919            | 439.21       | 0.09344             | 1.358,30                             | 0.25%                                      |
| 20           | 919            | 560.38       | 0.146               | 1.479,52                             | 0.27%                                      |
| 21           | 919            | 439.93       | 0.09344             | 1.359,02                             | 0.25%                                      |
| 22           | 919            | 435.91       | 0.17666             | 1.355,08                             | 0.25%                                      |
| 25           | 919            | 567.62       | 0.146               | 1.486,76                             | 0.27%                                      |
| 26           | 919            | 470.01       | 0.17666             | 1.389,18                             | 0.26%                                      |
| 27           | 919            | 486.82       | 0.146               | 1.405,96                             | 0.26%                                      |
| 28           | 919            | 460.31       | 0.05256             | 1.379,36                             | 0.25%                                      |
| 29           | 919            | 454.84       | 0.146               | 1.373,98                             | 0.25%                                      |

Pada tabel 10 dapat dijelaskan bahwa rugi-rugi daya yang ada pada *trafo* ABB 902 memiliki persentase dibawah 1 %. Baik persentase rugi-rugi daya terdiri dari rugi arus netral, rugi tembaga, rugi inti masih dalam kondisi normal dan tidak melebihi batas normal. Karena menurut standar PLN 50:1997 menetapkan standar rugi-rugi daya pada trafo sebesar 2%, Adapun rugi-rugi pada trafo ABB 902 berada dibawah 1% sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi rugi-rugi daya pada trafo ABB 902 masih dalam keadan normal.

#### 4.2.4. Analisa nilai efisiensi transformator

Agar dapat mengetahui berapa besar *persentase efisiensi* pada Transformator dapat menggunakan rumus persamaan (26). Adapun data perhitungan untuk mencari nilai efisiensi pada transformator menggunakan data pada tanggal 18 november 2024. Sehingga didapatkan untuk menghitung *efisiensi transformator* saat berbeban menurut SPLN 50 tahun 1997:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugi-rugi}} \times 100\%$$

##### a. kondisi jam 12.00

Berdasarkan perhitungan arus dan tegangan *sekunder* pada tanggal 18 november 2024 maka besar daya aktif dihitung dengan persamaan (3).

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$p_{out} = \sqrt{3} \times 420 \times 227 \times 0,85$$

$$p_{out} = 140.363,66 \text{ watt}$$

Setelah dilakukan perhitungan daya aktif maka besar nilai *efisiensi transformator* sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugi-rugi}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140.363,66}{140.363,66 + \sum \text{rugi arus netral+rugi tembaga+rugi inti}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140.363,66}{140.363,66 + \sum 0.05256 + 473,31 + 919} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140.363,66}{141.756,02} \times 100\%$$

$$\eta = 99.01 \%$$

### b. kondisi jam 16.00

Berdasarkan perhitungan arus dan tegangan *sekunder* pada tanggal 18 november 2024 maka besar daya aktif dihitung dengan persamaan (3).

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \times 420 \times 238,67 \times 0,85$$

$$P_{out} = 147.579,71 \text{ watt}$$

Setelah dilakukan perhitungan daya aktif maka besar nilai efisiensi transformator sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugi-rugi}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{147.579,71}{147.579,71 + \sum \text{rugi arus netral+rugi tembaga+rugi inti}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{147.579,71}{147.579,71 + \sum +0.17666+523,22+919} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{147.579,71}{149.022,1} \times 100\%$$

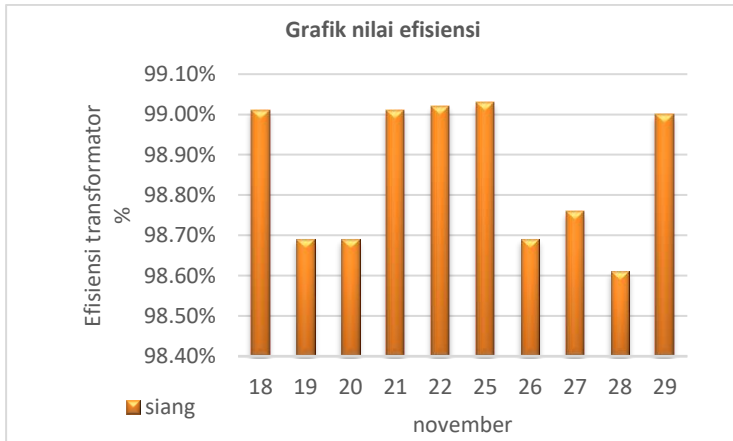
$$\eta = 99,03 \%$$

Dari hasil pengolahan data untuk mencari nilai *efisiensi trafo step down* ABB 902 yang dilakukan perhitungan pada dua minggu periode 18 November – 29 november pada waktu siang dan sore hari dapat dilihat pada tabel 11 dan 12 yaitu sebagai berikut.

**Tabel 11. Hasil Perhitungan efisiensi pada Trafo *Step Down* ABB 902 siang hari (18-29 november 2024)**

| Efisiensi siang (12.00) |                |               |              |                           |                      |                  |
|-------------------------|----------------|---------------|--------------|---------------------------|----------------------|------------------|
| Tanggal                 | Rugi-rugi daya |               |              | Total Rugi daya<br>(watt) | Daya ouput<br>(watt) | Efisiensi<br>(%) |
|                         | PN<br>(watt)   | PCU<br>(watt) | Pi<br>(watt) |                           |                      |                  |
| 18                      | 0.05256        | 473.31        | 919          | 1.392,36                  | 140.363,66           | 99.01%           |
| 19                      | 0.09344        | 160.84        | 919          | 1.079,93                  | 81.825,21            | 98.69%           |
| 20                      | 0.21022        | 160.04        | 919          | 1.079,25                  | 81.621,16            | 98.69%           |
| 21                      | 0.146          | 475.56        | 919          | 1.394,70                  | 140.697,86           | 99.01%           |
| 22                      | 0.146          | 482.59        | 919          | 1.401,73                  | 141.732,95           | 99.02%           |
| 25                      | 0.09344        | 525.72        | 919          | 1.444,81                  | 147.931,09           | 99.03%           |
| 26                      | 0.17666        | 161.61        | 919          | 1.080,78                  | 82.020,03            | 98.69%           |
| 27                      | 0.146          | 186.96        | 919          | 1.106,10                  | 88.218,18            | 98.76%           |
| 28                      | 0.17666        | 136.62        | 919          | 1.055,79                  | 75.412,81            | 98.61%           |
| 29                      | 0.09344        | 439.93        | 919          | 1.359,02                  | 135.324,07           | 99.00%           |

Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai *efisiensi* pada trafo *step down* ABB 902 untuk waktu siang (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 13.



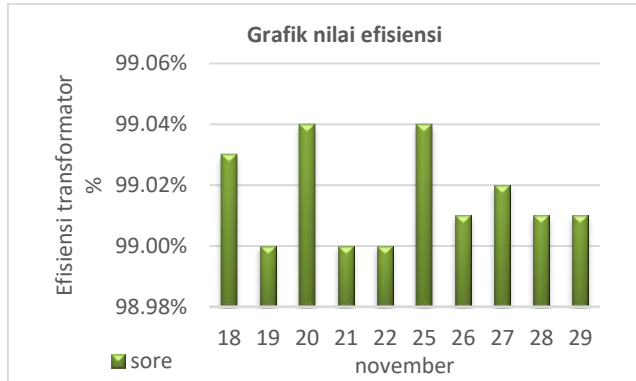
**Gambar 13. Grafik nilai *efisiensi* pada siang**

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu siang (18 November – 29 November 2024) dapat dilihat pada tabel 11 dan gambar grafik 13. Diketahui bahwa semakin tinggi tingkat efisiensi suatu peralatan maka semakin handal pula peralatan tersebut. Transformator juga memiliki *efisiensi*, bagus atau tidaknya *efisiensi* pada transformator dapat mempengaruhi kerja dari transformator tersebut dikarenakan jika transformator memiliki nilai *efisiensi* yang rendah maka menimbulkan kerugian baik dari operasional dan kehandalan transformator tersebut. Jika dilihat dari hasil grafik ditemukan bahwa nilai *efisiensi* transformator pada waktu siang hari tertinggi terjadi pada tanggal 25 november sebesar 99.03% sedangkan persentase terkecilnya terjadi pada tanggal 28 sebesar 98,61 %. Dari hasil perhitungan *efisiensi* dapat dilihat bahwa kondisi *transformator step down* ABB 902 masih dalam kondisi baik, akan tetapi dalam hal kondisi baik ini *efisiensi* transformator ABB mulai mengalami penurunan meskipun penurunannya tidak lah terlalu besar dikarenakan adanya rugi-rugi daya. Dalam hal ini jika melihat dari pada peraturan SPLN D3.002-1:2007 dijelaskan bahwa transformator dengan rating daya sebesar 630 Kva memiliki nilai *efisiensi* sebesar 99.31% pada beban 50% dan 99.025% pada beban 100%. Dapat disimpulkan bahwa transformator ABB 902 pada kondisi siang hari *efisiensi* masih dalam kondisi baik karena berada di 98-99 % tetapi seiring dengan adanya rugi-rugi daya maka dapat menimbulkan penurunan *efisiensi* apabila tidak dikontrol secara berkala.

**Tabel 12. Hasil Perhitungan efisiensi pada Trafo Step Down ABB 902 sore hari (18-29 november 2024)**

| Efisiensi sore (16.00) |                |        |        |                           |                      |                  |
|------------------------|----------------|--------|--------|---------------------------|----------------------|------------------|
| Tanggal                | Rugi-rugi daya |        |        | Total Rugi daya<br>(watt) | Daya ouput<br>(watt) | Efisiensi<br>(%) |
|                        | PN             | PCU    | Pi     |                           |                      |                  |
|                        | (watt)         | (watt) | (watt) |                           |                      |                  |
| 18                     | 0.17666        | 523.22 | 919    | 1.442,39                  | 147.579,71           | 99.03%           |
| 19                     | 0.09344        | 439.21 | 919    | 1.358,30                  | 135.212,87           | 99.00%           |
| 20                     | 0.146          | 560.38 | 919    | 1.479,52                  | 152.730,50           | 99.04%           |
| 21                     | 0.09344        | 439.93 | 919    | 1.359,02                  | 135.324,07           | 99.00%           |
| 22                     | 0.17666        | 435.91 | 919    | 1.355,08                  | 134.704,25           | 99.00%           |
| 25                     | 0.146          | 567.62 | 919    | 1.486,76                  | 153.713,96           | 99.04%           |
| 26                     | 0.17666        | 470.01 | 919    | 1.389,18                  | 139.873,51           | 99.01%           |
| 27                     | 0.146          | 486.82 | 919    | 1.405,96                  | 142.352,76           | 99.02%           |
| 28                     | 0.05256        | 460.31 | 919    | 1.379,36                  | 138.423,14           | 99.01%           |
| 29                     | 0.146          | 454.84 | 919    | 1.373,98                  | 137.598,79           | 99.01%           |

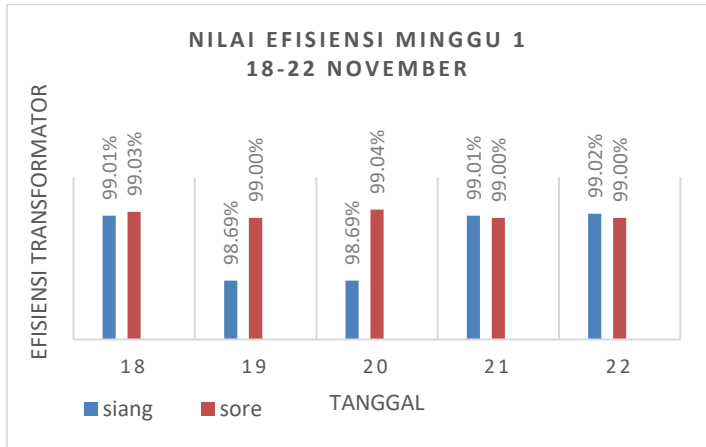
Maka, jika data tersebut dilihat dari grafik nilai *efisiensi* pada trafo *step down* ABB 902 untuk waktu sore (18 november – 29 november 2024) akan seperti pada Gambar 14.



**Gambar 14. Grafik nilai *efisiensi* pada sore**

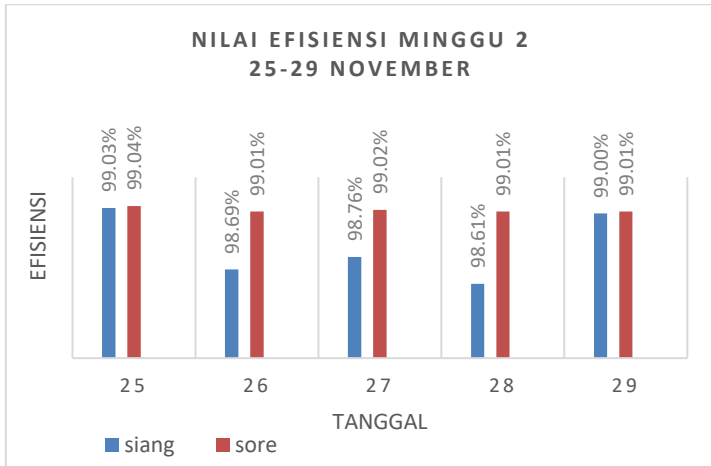
Dari hasil pengolahan data yang dilakukan selama 2 minggu yaitu pada waktu sore (18 November – 29 November 2024) dapat dilihat pada tabel 12 dan gambar grafik 14. Diketahui bahwa semakin tinggi tingkat efisiensi suatu peralatan maka semakin handal pula peralatan tersebut, bagus atau tidak nya *efisiensi* pada transformator dapat mempengaruhi kerja dari transformator tersebut dikarenakan jika transformator memiliki nilai *efisiensi* yang rendah maka menimbulkan kerugian baik dari operasional dan kehandalan transformator tersebut. Jika dilihat dari hasil grafik ditemukan bahwa nilai *efisiensi* transformator pada waktu sore masih dalam kondisi baik. Dalam hal ini jika melihat dari pada peraturan SPLN D3.002-1:2007 dijelaskan bahwa transformator dengan rating daya sebesar 630 Kva memiliki nilai *efisiensi* sebesar 99.31% pada beban 50% dan 99.025% pada beban 100%. Dapat disimpulkan bahwa transformator ABB 902 pada kondisi sore hari *efisiensi* masih dalam kondisi baik karena berada di 99 % tetapi seiring dengan adanya rugi-rugi daya maka dapat menimbulkan penurunan *efisiensi* apabila tidak dikontrol secara berkala.

Maka, jika data nilai *efisiensi* pada trafo *step down* ABB 902 dilihat untuk minggu pertama (18 november – 22 november 2024) dan minggu kedua (25-29 november 2024) akan seperti pada Gambar 15 dan Gambar 16.



**Gambar 15. Grafik nilai efisiensi pada minggu pertama**

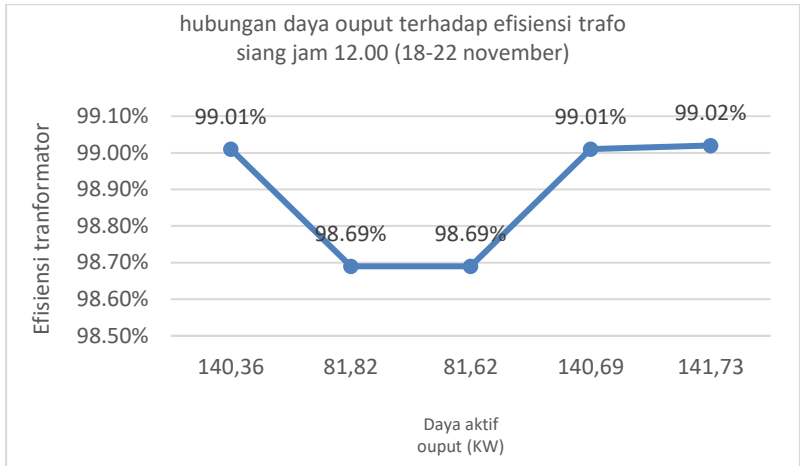
Dari gambar grafik 15 dapat di analisa bahwa selama 1 minggu dari tanggal (18-22 november 2024) baik pada waktu siang dan sore (waktu beban puncak) kondisi transformator masih dalam kondisi normal karena persentase *efisiensi* pada transformator rata-rata 99%. Adapun pada minggu pertama terjadi nya perbedan antara persentase efisiensi siang hari dan sore hari disebabkan perbedan besar nya daya yang mengalir dan persentase rugi-rugi daya yang berada pada waktu tersebut, dalam hal ini dapat diliat pada hasil tabel (11). Dapat disimpulkan kondisi transformator pada minggu ke pertama dari pengukuran dan perhitungan transformator pada siang hari dan sore hari (waktu beban puncak) kemampuan transformator dalam mendistribusikan daya masih normal dan belum terjadi penurunan yang sangat *signifikan*



**Gambar 16. Grafik nilai efisiensi pada minggu kedua**

Dari gambar grafik 16 dapat di analisa bahwa selama minggu ke dua dari tanggal (25 -29 november 2024) baik pada waktu siang dan sore (waktu beban puncak) kondisi transformator masih dalam kondisi normal karena persentase efisiensi pada transformator rata-rata 98- 99%. Adapun pada minggu kedua terjadi nya perbedan antara persentase *efisiensi* siang hari dan sore hari disebabkan perbedan besar nya daya yang mengalir pada waktu tersebut dan rugi daya antara siang dan sore hari dalam hal ini dapat diliat pada hasil tabel (11). Dapat disimpulkan kondisi transformator pada minggu ke dua dari pengukuran dan perhitungan transformator pada siang hari dan sore hari (waktu beban puncak) kemampuan transformator dalam mendistribusikan daya masih normal dan belum terjadi penurunan yang sangat *signifikan*.

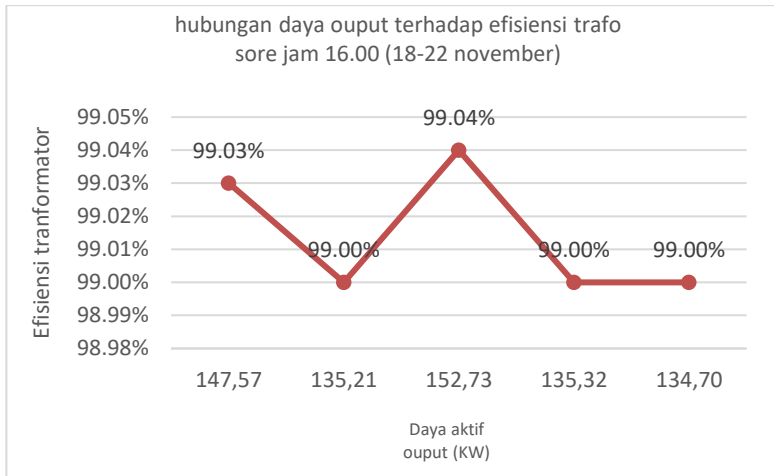
Dapat diketahui hubungan daya ouput terhadap *efisiensi* trafo *step down* ABB 902 pada siang hari (18-22 november ) dapat dilihat pada grafik berikut ini.



**Gambar 17. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 1**

Pada gambar grafik 17 dapat di analisis bahwa efisiensi trafo umum nya akan meningkat seiring dengan peningkatan beban hingga mencapai nilai maksimum. Pada grafik diatas diketahui bahwa dengan daya aktif (ouput) pada tanggal 18 november sebesar 140.363,66watt dengan persentase *efisiensi* trafo sebesar 99.01%, sedangkan daya aktif pada tanggal 19 november sebesar 81.825,21 dengan persentase *efisiensi* 98.69%. Maka dapat disimpulkan bahwa Saat Daya ouput yang rendah dan nilai *efisiensi* cenderung rendah juga ini terjadi akibat rugi-rugi tembaga relatif kecil dibandingkan dengan rugi inti dapat dilihat pada hasil tabel (10 dan 11). Sedangkan apabila daya ouput tinggi membuat rugi-rugi tembaga meningkat dan untuk rugi inti tetap sehingga membuat rugi-rugi tembaga menjadi seimbang dengan rugi-rugi inti, sehingga *efisiensi* cenderung meningkat mencapai nilai maksimum.

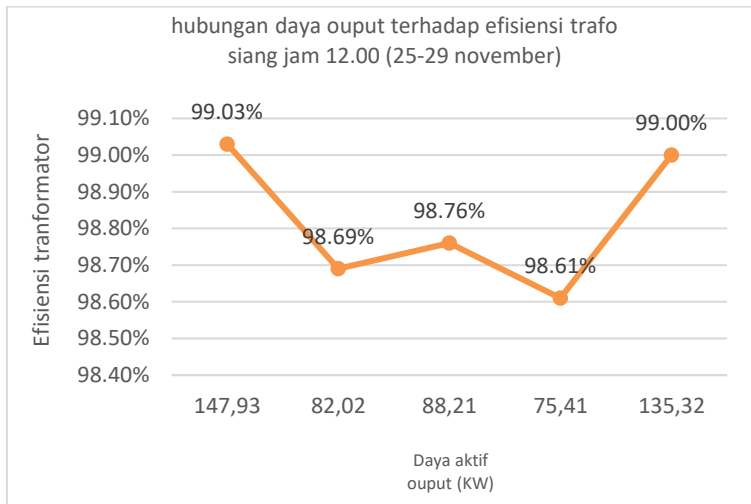
Dapat diketahui hubungan daya ouput terhadap *efisiensi trafo step down* ABB 902 pada sore hari (18-22 november ) dapat dilihat pada grafik berikut ini.



**Gambar 18. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 1**

Pada gambar grafik 18 dapat di analisis bahwa *efisiensi* trafo umum nya akan meningkat seiring dengan peningkatan beban hingga mencapai nilai maksimum. Pada grafik diatas diketahui bahwa dengan daya aktif dan nilai *efisiensi* cenderung meningkat pada waktu sore hari dimana persentase *efisiensi* berada diatas 99%. Maka dapat disimpulkan bahwa kondisi daya ouput pada waktu sore hari tinggi sehingga membuat rugi-rugi tembaga meningkat dan untuk rugi inti tetap sehingga membuat rugi-rugi tembaga mendekati seimbang dengan rugi-rugi inti sehingga *efisiensi* cenderung meningkat mencapai nilai maksimum. Untuk melihat persentase rugi-rugi dan beban dapat dilihat pada tabel 10 dan 11.

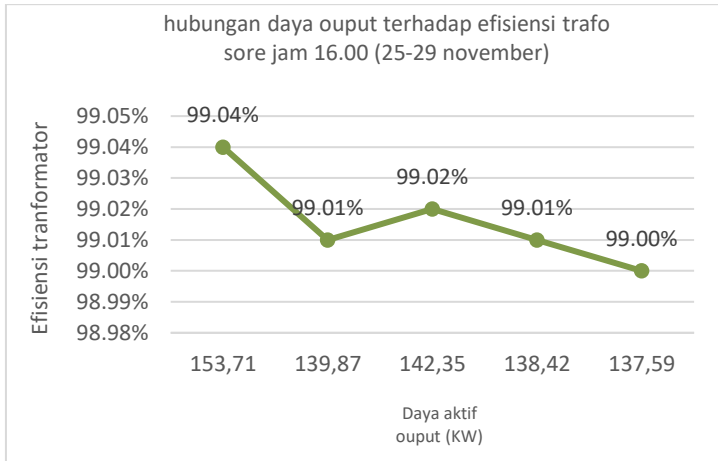
Dapat diketahui hubungan daya ouput terhadap *efisiensi trafo step down* ABB 902 pada siang hari (25-29 november ) dapat dilihat pada grafik berikut ini.



**Gambar 19. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 2**

Pada gambar grafik 18 dapat di analisis bahwa *efisiensi* trafo umum nya akan meningkat seiring dengan peningkatan beban hingga mencapai nilai maksimum. Pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa rata rata *efisiensi* pada trafo pada saat minggu ke 2 waktu siang hari tanggal 26,27, 28 november berada diantara 98% sedangkan pada tanggal 25 dan 29 nilai efisiensi berada di 99%. Maka dapat disimpulkan bahwa kondisi daya ouput trafo saat minggu ke 2 pada siang hari rendah dan nilai *efisiensi* cenderung rendah juga ini terjadi akibat rugi-rugi tembaga relative terlalu kecil dibandingkan dengan rugi inti.

Dapat diketahui hubungan daya ouput terhadap *efisiensi trafo step down* ABB 902 pada sore hari (25-29 november ) dapat dilihat pada grafik berikut ini.



**Gambar 20. Hubungan daya ouput dengan efisiensi trafo minggu 2**

Pada gambar grafik 20 dapat di analisis bahwa *efisiensi* trafo umum nya akan meningkat seiring dengan peningkatan beban hingga mencapai nilai maksimum. Pada grafik diatas diketahui bahwa dengan daya aktif dan nilai *efisiensi* cenderung meningkat pada waktu sore hari dimana persentase efisiensi berada diatas 99%. Maka dapat disimpulkan bahwa kondisi daya ouput pada waktu sore hari pada minggu ke dua tinggi sehingga membuat rugi-rugi tembaga meningkat dan untuk rugi inti tetap sehingga membuat rugi-rugi tembaga mendekati seimbang dengan rugi-rugi inti akhirnya nilai *efisiensi* cenderung meningkat mencapai nilai maksimum. Untuk melihat persentase rugi-rugi dan beban dapat dilihat pada tabel 10 dan 11.

## Bab 5. Kesimpulan Dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Dari perhitungan, penelitian, dan pembahasan yang sudah dilakukan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengolahan data nilai persentase ketidakseimbangan beban pada trafo *step down* ABB 902 di *switch house* 3 berada di angka 0% - 2% dan masih berada dalam kondisi normal menurut standar PLN no 17 tahun 2014 yaitu maksimal sebesar <10%
2. Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula persentase rugi daya akibat arus netral, atau pun sebaliknya semakin kecil persentase ketidakseimbangan beban maka semakin kecil juga persentase rugi daya akibat arus netral. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan nilai persentase rugi daya akibat adanya arus netral bahwa persentase ketidakseimbangan beban tertinggi berada di 1,66% dengan rugi arus netral sebesar 12 A, sedangkan persentase ketidakseimbangan beban terendah berada 0,33% dengan rugi arus netral sebesar 6 A.
3. Besarnya rugi-rugi daya pada trafo *step down* ABB 902 di *switch house* 3 baik itu rugi arus netral, rugi tembaga, rugi inti dalam satu hari bahwa persentase rugi-rugi daya nya masih berada di angka 0% - 1%.
4. Hasil pengolahan data nilai *efisiensi* pada trafo *step down* ABB 902 di *switch house* 3 berada di angka 98%-99% dan masih dalam kondisi normal.
5. Hasil pengolahan data nilai persentase pembebanan pada trafo *step down* ABB 902 di *switch house* 3 tidak mengalami beban berlebih karena berada di angka 13% - 29% dan masih berada dibawah 80%.

### 5.2. Saran

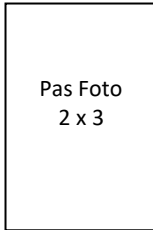
Adapun saran yaitu:

1. Bagi yang ingin meneruskan penelitian ini penulis berharap untuk menganalisa pembebanan trafo, ketidakseimbangan beban trafo, rugi-rugi daya pada trafo dan persentase efisiensi pada trafo untuk durasi waktu 24 jam
2. Di karenakan penelitian ini masih menganalisis dan melakukan perhitungan secara manual bagi yang ingin meneruskan penelitian ini penulis berharap dilakukan nya perhitungan dan analisis data pada ketidakseimbangan beban pada trafo, pembebanan pada trafo, rugi-rugi daya pada trafo dan efisiensi pada trafo hendaknya dibantu oleh perhitungan dan analisis menggunakan software seperti Electrical Transient and Analysis Program (ETAP), dll. Agar menghasilkan perbandingan data yang lebih lengkap.

## Daftar Pustaka

- [1] M. F. Robbani, D. Nugroho, and G. Gunawan, "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage," *Elektrika*, vol. 12, no. 2, p. 60, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2721.
- [2] Letifa Shintawaty, "Peranan Daya Reaktif Pada Sistem Kelistrikan," *J. Desiminasi Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–20, 2013.
- [3] A. Nugroho, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi (Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Kartasura)," *Anal. PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODistrib. (Stud. KASUS PADA PT. PLN RAYON KARTASURA )*, 2019.
- [4] R. Syahputra Srg, R. Harahap, P. Arus, and R. Syahputra Siregar, "Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban," *J. Electr. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 79–85, 2017.
- [5] A. Darwanto, "ANALISIS KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI Di PT. PLN (Persero) RAYON CEPU," *Simetris*, vol. 15, no. 1, pp. 35–42, 2021, doi: 10.51901/simetris.v15i01.179.
- [6] A. P. R. Daya, T. K. Harmonik, C. Agusman, U. Indonesia, F. Teknik, and P. S. Ekstensi, "UNIVERSITAS INDONESIA," 2011.
- [7] R. M. Solossa and H. Tasmono, "Analisa Efisiensi Pada Transformator Daya 60 MVA Di Gardu Induk Babadan Sidoarjo," *Ilm. Ekon. dan Manaj.*, vol. 2, pp. 323–332, 2024.
- [8] Y. Marniati and A. S. Ayu, "Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Auxiliary Transformator Pt.Kai Lrt Sumsel," *J. TEKNO*, vol. 18, no. 1, pp. 16–28, 2021.
- [9] N. J. Hontong, M. Tuegeh, and L. S. Patras, "Analisa Rugi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 64–71, 2015.
- [10] I. Fadillah, M. R. Hidayat, Christiono, H. R. Iskandar, and E. Taryana, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) UP3 Garut," *Sutet*, vol. 13, no. 2, pp. 101–112, 2024, doi: 10.33322/sutet.v13i2.1885.

## Biodata



Nama : HASANUDIN  
TTL : Palembang / 15-07-2000  
Agama : Islam

Alamat : Marina green blok a no 39, Rt/Rw  
05/018, Kel. Tanjung uncang, Kec. Batu  
aji Kota batam

Email : rafandahadi1527@gmail.com  
Riwayat Pendidikan/sekolah : SMK N 5 Batam

## Lampiran A

### 1. Bentuk fisik transformator ABB 902 di *switch house* 3



### 2. *Routine inspeksi* kondisi trafo



## Lampiran B

### Standarisasi efisiensi menurut SPLN D3.0002-1:2007

**Tabel B1. Efisiensi Dan Pengaturan Tegangan Transformator Fase-Tunggal**

| Daya | Rugi tanpa beban | Rugi berbeban pada 75°C | Tegangan impedansi pada 75°C | Efisiensi pada $\cos \phi = 1$ |            | Regulasi tegangan pada beban penuh |                 |               |
|------|------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------------|-----------------|---------------|
|      |                  |                         |                              | beban 50%                      | beban 100% | $\cos \phi$ 0,8                    | $\cos \phi$ 0,9 | $\cos \phi$ 1 |
| kVA  | W                | W                       | %                            | %                              | %          | %                                  | %               | %             |
| 1    | 2                | 3                       | 4                            | 5                              | 6          | 7                                  | 8               | 9             |
| 10   | 40               | 185                     | 2,5                          | 98,30                          | 97,80      | 2,49                               | 2,40            | 1,86          |
| 16   | 50               | 265                     | 2,5                          | 98,57                          | 98,07      | 2,45                               | 2,31            | 1,67          |
| 25   | 70               | 370                     | 2,5                          | 98,72                          | 98,27      | 2,40                               | 2,22            | 1,50          |
| 50   | 120              | 585                     | 2,5                          | 98,95                          | 98,61      | 2,27                               | 2,03            | 1,19          |

**Tabel B2. Efisiensi Dan Pengaturan Tegangan Transformator Fase-Tiga**

| Daya | Rugi tanpa beban | Rugi berbeban pada 75°C | Tegangan impedansi pada 75°C | Efisiensi pada $\cos \phi = 1$ |            | Regulasi tegangan pada beban penuh |                 |               |
|------|------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------------|-----------------|---------------|
|      |                  |                         |                              | beban 50%                      | beban 100% | $\cos \phi$ 0,8                    | $\cos \phi$ 0,9 | $\cos \phi$ 1 |
| kVA  | W                | W                       | %                            | %                              | %          | %                                  | %               | %             |
| 1    | 2                | 3                       | 4                            | 5                              | 6          | 7                                  | 8               | 9             |
| 25   | 75               | 425                     | 4                            | 98,57                          | 98,04      | 3,55                               | 3,14            | 1,77          |
| 50   | 125              | 800                     | 4                            | 98,72                          | 98,18      | 3,50                               | 3,07            | 1,67          |
| 100  | 210              | 1420                    | 4                            | 98,88                          | 98,40      | 3,40                               | 2,95            | 1,49          |
| 160  | 300              | 2000                    | 4                            | 99,01                          | 98,58      | 3,31                               | 2,82            | 1,32          |
| 200  | 355              | 2350                    | 4                            | 99,07                          | 98,67      | 3,26                               | 2,77            | 1,25          |
| 250  | 420              | 2750                    | 4                            | 99,12                          | 98,75      | 3,22                               | 2,71            | 1,17          |
| 315  | 500              | 3250                    | 4                            | 99,17                          | 98,82      | 3,17                               | 2,66            | 1,11          |
| 400  | 595              | 3850                    | 4                            | 99,23                          | 98,90      | 3,13                               | 2,61            | 1,04          |
| 500  | 700              | 4550                    | 4                            | 99,27                          | 98,96      | 3,10                               | 2,57            | 0,99          |
| 630  | 835              | 5400                    | 4                            | 99,31                          | 99,02      | 3,06                               | 2,52            | 0,93          |
| 800  | 1000             | 6850                    | 4,5                          | 99,33                          | 99,03      | 3,38                               | 2,76            | 0,95          |
| 1000 | 1100             | 8550                    | 5                            | 99,36                          | 99,04      | 3,70                               | 3,00            | 0,98          |
| 1250 | 1400             | 10600                   | 5,5                          | 99,36                          | 99,05      | 4,01                               | 3,23            | 1,00          |
| 1600 | 1680             | 13550                   | 6                            | 99,37                          | 99,06      | 4,33                               | 3,48            | 1,02          |
| 2000 | 1990             | 16900                   | 7                            | 99,38                          | 99,06      | 4,97                               | 3,96            | 1,09          |
| 2500 | 2350             | 21000                   | 7                            | 99,40                          | 99,07      | 4,97                               | 3,96            | 1,08          |

## Lampiran C

### 1. Tabel Tahanan jenis beberapa bahan kabel

| Bahan     | Hambatan Jenis $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ ) |
|-----------|--|
| Perak     | $1,59 \times 10^{-8}$                      |
| Tembaga   | $1,68 \times 10^{-8}$                      |
| Emas      | $2,44 \times 10^{-8}$                      |
| Aluminium | $2,65 \times 10^{-8}$                      |
| Tungsten  | $5,60 \times 10^{-8}$                      |
| Besi      | $9,71 \times 10^{-8}$                      |
| Platina   | $10,6 \times 10^{-8}$                      |

(Sumarsono, 2009)

### 2. Dokumentasi pengukuran Panjang kabel netral

