**Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Transformator**

Mufid Rabbani1, Sapto Nisworo2, dan Agung Trihasto3

1,2,3Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

mufidrabani005@gmail.com1, saptonisworo@untidar.ac.id2, dan agungtrihasto@untidar.ac.id3

**ABSTRAK**

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo menyebabkan terjadinya rugi. yaitu rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan rugi akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Dengan mengetahui ketidakseimbangan beban tersebut maka dilakukan analisis dan perhitungan persentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral saluran distribusi Gardu Induk 150kV Secang. Setelah dilakukan analisis dan perhitungan persentase ketidakseimbangan beban diperoleh nilai ketidakseimbangn beban yang masih dalam batas standar yang diijinkan yaitu dibawah 20%. Nilai ketidakseimbangan beban tertinggi terletak pada penyulang SCG03 sebesar 13.65%. dengan demikian pembebanan transformator saluran distribusi Gardu Induk 150kV Secang masih dalam keadaan standar.

**Kata kunci:** ketidakseimbanag beban, arus netral, rugi-rugi transformator.

***Abstract***

*Unbalanced load on an electric power distribution system always occurs and the cause of the imbalance is on single-phase loads on low voltage network customers. Due to the load imbalance, a current appears in the transformer neutral. The current flowing in the transformer neutral causes a loss. Namely loss due to neutral currents in the transformer neutral conveyor and loss due to neutral currents flowing to the ground. By knowing the load imbalance, an analysis and calculation of the percentage of the load imbalance against the neutral current is distributed to the Secang 150kV substation distribution channel. After analyzing and calculating the percentage of load imbalance, the unbalance value of the load is still within the allowable standard limit of below 20%. The highest load imbalance value lies in SCG03 feeders of 13.65%. Thus loading the distribution channel transformer Secang 150kV substation is still in standard condition.*

***Keywords:*** *unbalance load, neutral current, transformer losses.*

# PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk mengubah tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Peralatan tersebut sangat penting, maka diusahakan agar peralatan ini berusia panjang dan mampu meminimalkan rugi-rugi yang timbul dalam transformator agar tidak menimbulkan kerugian yang terlalu besar, dalam mengatasi masalah ini maka perlu dilakukan pemeliharaan jaringan distribusi. [1]

Transformator sebagai peralatan listrik yang beroperasi saat keadaan berbeban atau pun tidak berbeban. Rugi transformator berkisar antara 20% hingga 25% dari keseluruhan rugi jaringan dengan rugi tanpa beban dan rugi berbeban. Rugi-rugi tanpa beban terdiri dari semua rugi-rugi yang timbul karena rangkaian primer diberikan tegangan, dan rangkaian sekundernya dalam keadaan terbuka [2]. Rugi-rugi yang terjadi semakin besar pada pengoperasian transformator berbeban dengan keadaan beban yang tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan terjadinya rugi daya pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah arus di netral transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah [3].

Keandalan transformator bergantung pada minimumnya rugi-rugi yang dimiliki oleh transformator tersebut. Semakin minimum rugi-rugi yang terjadi pada transformator, maka semakin baik pula operasi transformator tersebut yang berpengaruh pada keandalan sistem tenaga listrik. Keandalan transformator yang baik meningkatkan produksi listrik yang dapat menguntungkan pembangkitan, transmisi, distribusi dan konsumen itu sendiri [4].

#  LANDASAN TEORI

1. Tinjauan Pustaka

Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem penyaluran yang digunakan. Oleh sebab itu, dalam menyalurkan suatu sistem tenaga listrik, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi peralatan sistem tenaga listrik yang mungkin menyebabkan kurangnya efisiensi penyaluran tenaga listrik terhadap konsumen akibat beban tidak seimbang pada tiap-tiap fasa yaitu fasa R, fasa S, dan fasa T.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu lossesakibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (28,67%), maka arus netral yang muncul juga besar (118,6A), dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (8.62%) [5].

Rugi pada transformator timbul dari 2 sisi yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Ada beberapa komponen penyebab rugi-rugi pada transformator yaitu rugi besi (*hysterisis* dan *eddy current*), flux bocor dan rugi tembaga. Rugi tembaga disebabkan oleh arus yang mengalir pada lilitan tembaga. Arus ini mengalir ketika transformator dibebani jadi rugi tembaga ini berubah-ubah tergantung beban, rugi inti besi terdiri dari dua bagian yaitu rugi *eddy current* (rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi) dan rugi *hysteresis* (rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi) , dan flux bocor biasanya relatif kecil. Untuk mengurangi flux bocor maka dibuat inti transformator dari besi lunak agar flux magnet terfokus dan tidak menyebar ke segala penjuru, sehingga flux bocor dapat dikurangi [6].

Salah satu cara mengatasi *losses* arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa sehingga besar vektor arus/tegangan sama besar. Menurut standard ketidakseimbangan beban yang diijinkan adalah maksimal 20% (IEEE STD 446-1980) dengan tingginya ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap besarnya arus netral, di mana arus netral yang besar mengakibatkan *losses* bertambah dan kualitas daya menjadi rendah sehingga berpengaruh terhadap kualitas sistem penyaluran tenaga listrik [7].

Kerugian jaringan distribusi dapat sangat bervariasi tergantung pada ketidakseimbangan beban. Analisis kerugian sistem distribusi dengan membandingkan ketidakseimbangan beban dan efek dari rugi-rugi penghantar dari transformator daya. Perbandingan dilakukan antara kerugian penghantar transformator dihitung dari kondisi berbeban dengan beban tidak seimbang dengan memperhatikan akibat jika beban ditransformator didistribusikan secara merata antar fasa. Hasilnya menunjukkan bahwa tingginya tingkat ketidakseimbangan beban menghasilkan kerugian yang lebih besar pada transformator dan kerugian total rugi-rugi penghantar transformator semakin bertambah. Hal ini pada akhirnya akan mengarah pada menurunnya keandalan sistem tenaga listrik dan membuat biaya produksi tenaga listrik menjadi meningkat [8].

Pelepasan beban dilakukan sebagai usaha memperbaiki kestabilan sistem yang terganggu karena beban lebih. Salah satu komponen stabilitas sistem yang mampu menjadi referensi pelepasan beban adalah frekuensi. Pelepasan beban diharapkan dapat memulihkan frekuensi dengan cepat dan jumlah beban yang dilepaskan seminimal mungkin. Oleh sebab itu diperlukan beberapa pengaturan pada rele frekuensi seperti waktu tunda rele, frekuensi kerja dan besar beban dilepaskan [9].

1. Dasar Teori

Sistem tenaga listrik sangat bergantung pada keandalan dan efisiensi sistem kelistrikan. Salah satu syarat keandalan sistem penyaluran tenaga listrik yang harus dipenuhi untuk pelayanan kepada konsumen adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil, namun belum mungkin untuk mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi karena tegangan jatuh akan terjadi di semua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban. Dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik, kualitas daya merupakan hal yang penting. Untuk menjaga stabilitas tersebut perlu diperhatikan pembebanan pada transformator dengan memperhatikan rugi-rugi yang terjadi untuk mengidentifikasi beban lebih akibat beban tidak seimbang sehingga keandalan dan efisiensi sistem dapat terjaga.

1. Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Gambar 2. 1 Kontruksi transformator

Keterangan:

V1 = tegangan primer (volt);

V2 = tegangan sekunder (volt);

I0 = arus bocor (ampere);

N1 = jumlah lilitan primer;

N2 = jumlah lilitan sekunder;

I2 = arus sekunder (ampere);

Prinsip kerja transformator adalah:

1. sumber arus AC diberikan pada kumparan primer sehingga terjadi fluks yang berubah sesuai arus yang masuk;
2. perubahan fluks mengalir pada inti besi dan menginduksikan kumparan sekunder;
3. kumparan sekunder terinduksi fluks akan menimbulkan tegangan induksi, dan jika dibebani akan mengalir induksi.
4. Rugi-rugi transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

S = $√3$. V . I (2.1)

Keterangan:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

IFL = $\frac{S}{√3 . V}$ (2.2)

Keterangan:

IFL = arus beban penuh (A);

S = daya transformator (kVA);

V = tegangan sisi sekunder transformator (kV);

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

PN = IN2. RN (2.3)

Keterangan:

PN = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)

IN = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

RN = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan *losses* yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

PG = IG2 . RG (2.4)

Keterangan:

PG = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (W)

IG = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

RG = tahanan pembumian netral trafo (Ω)

1. Beban seimbang dan tidak seimbang

Pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat, beban dikatakan seimbang jika pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya. gambar 2.2 a menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang dan membentuk sudut 1200 antara phasa yang satu dengan phasa yang lainnya. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (IN).

Keadaan seimbang adalah suatu keadaan yang terjadi apabila syarat-syarat berikut terpenuhi:

1. ketiga vektor arus / tegangan sama besar,
2. ketiga vektor saling membentuk sudut 120º satu sama lain.



Gambar 2. 2 Diagram vektor arus beban seimbang

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120º satu sama lain,
2. ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120º satu sama lain,
3. ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120º satu sama lain.



Gambar 2. 3 Diagram vektor arus beban tidak seimbang

Keadaan ketidakseimbangan beban ditunjukkan pada gambar 2.3. Pada gambar 2.2 menunjukkan vektor diagram dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral. Sementara, ada gambar 2.3 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR IS IT) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (In) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Pada penyaluran dan susut daya dapat dihitung dengan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

P = 3 . V . I . cos ϕ (2.5)

Keterangan:

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan pada ujung kirim

cos ϕ = faktor daya



Gambar 2. 4 aliran arus sisi sekunder transformator

Berdasarkan persamaan (2.4) Ketidakseimbangan beban dapat di hitung. Analisis pembebanan transformator dapat diketahui sebagai berikut;

Irata-rata siang = $\frac{I\_{R}+I\_{S}+I\_{T}}{3}$ (2.9)

 Irata-rata malam = $\frac{I\_{R}+I\_{S}+I\_{T}}{3}$ (2.10)

Apabila persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) menyatakan arus rata-rata siang dan malam maka dapat di hitung nilai koefisien a, b, dan c sebagai berikut;

$a $=$ \frac{I\_{R}}{I}$ (2.11)

$b$ $=\frac{I\_{S}}{I}$ (2.12)

$ c$ = $\frac{I\_{T}}{I}$ (2.13)

dengan demikian persentase ketidakseimbangan beban dapat di hitung sebagai berikut:

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

= ketidakseimbangan beban (%)

Persentase ketidakseimbangan beban yang diijinkan adalah 5-20% (IEE STD 446-1980) dengan tingginya ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap besarnya arus netral, dimana arus netral yang besar mengakibatkan losses bertambah dan kualitas tenaga yang rendah sehingga berpengaruh terhadap kualitas sistem penyaluran tenaga listrik.

# METODOLOGI PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini penulis melakukan penelitian untuk menganalisis persentase pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang menggunakan niali rata-rata data beban penyulang bulan februari 2018.

* 1. Data yang dibutuhkan

Untuk menyelasaikan penelitian tugas akhir ini maka dibutuhkan data-data dalam penelitian ini, adapun data-data yang dibutuhkan sebagai berikut :

1. Data jumlah saluran penyulang pada Gardu induk150kV Secang.
2. Data arus R, S, T, yang mengalir pada tiap penyulang Gardu induk 150kV Secang.
3. Data pengukuran arus R, S, T, tiap penyulang pada waktu siang 10.00 dan malam 19.00.

Adapun tahapan dalam penyelasain penelitian ini memiliki beberepa proses yang harus dilakukan untuk menyelasaikam. Gambar tahapan perhitungan dan analisis ditunjukkan pada ini Gambar 3.1;



Penelitian dilakukan pada saluran distribusi Gardu Induk 150kV Secang pada masing-masing penyulang. Waktu perhitungan dan analisis berdasarkan data beban penyulang jalur distribusi gardu induk 150kV secang bulan Februari 2018.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan perhitungan pengaruh ketidakseimbangan terhadap arus netral di perlukan Data beban penyulang jalur distribusi gardu induk 150kV secang bulan Februari 2018. Data ketidakseimbangan beban mencakup arus saluran fasa R, S, dan T. Data beban penyulang jalur distribusi gardu induk 150kV secang ditunjukkan pada tabel 4.1:

Tabel 4.1 Data beban penyulang jalur distribusi gardu induk 150kV secang bulan Februari 2018

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Grdu Induk | Data Trafo | Penyulang | Beban Penyulang | Tertinggi |
| Unit | Daya(MVA) | Feeder | Jam 10.00 | Jam 19.00 |
| SECANG |  |  |
| R | S | T | R | S | T |
| I | 60 | SCG02 | 264 | 282 | 272 | 167 | 184 | 161 | 282 |
| SCG03 | 100 | 69 | 80 | 118 | 80 | 96 | 118 |
| SCG04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCG05 | 136 | 155 | 182 | 197 | 259 | 281 | 281 |
| SCG07 | 158 | 163 | 185 | 231 | 246 | 256 | 256 |
| SCG08 | 118 | 124 | 116 | 197 | 214 | 210 | 214 |
| SCG11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | 30 | SCG01 | 65 | 69 | 67 | 127 | 122 | 112 | 127 |
|  | II | SCG06 | 221 | 222 | 228 | 139 | 142 | 139 | 228 |
| SCG09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCG10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Sumber: Data beban penyulang Jateng & DIY Bulan februari 2018 APJ Magelang

Berdasarkan data masukan pada tabel 4.1 kemudian dilakukan perhitungan ketidakseimbangan beban pada setiap penyulang *(feeder).* Jumlah penyulang yang akan di analisis yaitu sebanyak 11 penyulang yang mencakup fasa R S T masing-masing. Untuk contoh perhitungan hanya menggunakan 3 data penyulang yaitu SCG02, SCG03, dan SCG05.

Perhitungan keseluruhan akan di tampilkan pada tabel 4.2 hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang. Dengan cara yang sama persentase ketidakseimbangan beban jalur distribusi pada gardu induk 150kV Secang dihitung menggunakan Microsoft Exel.. Berikut hasil perhitungan di tampilkan pada tabel 4.2:

1. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG02 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 2.28% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 5.21%.
2. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG03 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 13.65% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 13.61%. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG05 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 10.29% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 13.21%.
3. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG07 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 6.46% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 3.64%.
4. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG08 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 2.61% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 3.22%.
5. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG02 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 2.28% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 5.21%.
6. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG01 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 1.99% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 4.62%.
7. Berdasarkan tabel hasil perhitungan ketidakseimbangan beban saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang dapat diketahui ketidakseimbangan beban penyulang SCG06 pada siang hari pukul 10.00 sebesar 1.29% dan pada malam hari pukul 19.00 sebesar 0.95%.

Untuk nilai ketidakseimbangan beban tertinggi terletak pada penyulang SCG03 pukul 10.00 sebesar 13.65% dan nilai ketidakseimbangan beban terrendah terletak pada penyulang SCG06 pukul 19.00 sebesar 0,95%.

Tabel 4.2 ketidakseimbangan saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **WAKTU** | **Data Penyulang** | **Arus** | **Tertinggi** | **I rata-rata** | **Koefisien** | **Beban tidak****Seimbang****(%)** |
|  |  | **R** | **S** | **T** |  |  | **a** | **b** | **c** |  |
|  | **SCG02** | 264 | 282 | 272 | 282 | 273 | 0.968 | 1.034 | 0.998 | 2.28 |
|  | **SCG03** | 100 | 69 | 80 | 100 | 83 | 1.205 | 0.831 | 0.964 | 13.65 |
|  | **SCG04** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG05** | 136 | 155 | 182 | 182 | 158 | 0.863 | 0.983 | 1.154 | 10.29 |
| **SIANG** | **SCG07** | 158 | 163 | 185 | 185 | 169 | 0.937 | 0.966 | 1.097 | 6.46 |
| **10.00** | **SCG08** | 118 | 124 | 116 | 118 | 119 | 0.989 | 1.039 | 0.972 | 2.61 |
|  | **SCG11** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG01** | 65 | 69 | 67 | 69 | 67 | 0.970 | 1.030 | 1.000 | 1.99 |
|  | **SCG06** | 221 | 222 | 228 | 228 | 224 | 0.988 | 0.993 | 1.019 | 1.29 |
|  | **SCG09** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG02** | 167 | 184 | 161 | 184 | 171 | 0.979 | 1.078 | 0.943 | 5.21 |
|  | **SCG03** | 118 | 80 | 96 | 118 | 98 | 1.204 | 0.816 | 0.980 | 13.61 |
|  | **SCG04** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG05** | 197 | 259 | 281 | 281 | 246 | 0.802 | 1.054 | 1.144 | 13.21 |
| **MALAM** | **SCG07** | 231 | 246 | 256 | 256 | 244 | 0.945 | 1.007 | 1.048 | 3.64 |
| **19.00** | **SCG08** | 197 | 214 | 210 | 214 | 207 | 0.952 | 1.034 | 1.014 | 3.22 |
|  | **SCG11** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG01** | 127 | 122 | 112 | 127 | 120 | 1.055 | 1.014 | 0.931 | 4.62 |
|  | **SCG06** | 139 | 142 | 139 | 142 | 140 | 0.993 | 1.014 | 0.993 | 0.95 |
|  | **SCG09** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | **SCG10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

# KESIMPULAN

Berdasarkan proses yang telah di kerjakan pada skripsi ini, dapat di simpulkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban berdasarkan perhitungan data beban penyulang saluran distribusi pada gardu induk 150kV Secang yang dihitung menggunakan Microsoft Exel. Maka diperoleh hasil bawha nilai persentase ketidakseimbangan beban terendah dan tertinggi terjadi pada waktu siang 10.00 dan malam 19.00. Untuk nilai persentase ketidakseimbangan beban terendah siang hari terjadi pada saluran SCG06 sebesar 1.29% dan niali persentase ketidakseimbangan beban tertinggi siang hari terjadi pada saluran SCG03 sebesar 13.65%. Untuk nilai persentase ketidakseimbangan beban terendah malam hari terjadi pada saluran SCG06 sebesar 0.95% dan nilai persentase ketidak seimbangan tertinggi malam hari terjadi pada saluran SCG03 sebesar 13.61%. Berdasarkan hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban yang telah diketahui maka untuk batas maksimal nilai ketidakseimbangan beban adalah 5-20% (IEE STD 446-1980) maka nilai ketidakseimbangan beban pada saluran distribusi Gardu Induk 150kV Secang masih dalam keadaan standar.

# DAFTAR PUSTAKA

A.R. Demmassabu., L. S. Patras., F. Lisi. (2014). Analisa Kegagalan Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Dengan Metode TDCG, KEY GAS, ROGER’S RATIO, DUVAL’S TRIANGLE. e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (2014), ISSN : 2301-8402;

Chembe, D. K. (2009). Reduction of Power Losses Using Phase Load Balancing Method in Power Networks. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 (ISBN: 978-988-17012-6-8), pp. 1-6;

Damnjanovic, A. (2004). The Measurement and Evaluation of Distribution Transformer Losses Under Non-Linear Loading. IEEE Power Engineering Society General Meeting, PESGM 2004-000721, pp. 1-5;

Egwaile, J. O., Onohaebi S. O., dan Ike S. A. (2013). Evaluation Of Distribution System Losses Due To Unbalanced Load In Transformers a Case Study Of Guinness 15MVA, 33/11KV, Injection Substation And Its Associated 11/0.415kv Transformers In Benin City, Nigeria. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 2, no. 3, pp. 1-8;

Feranita., Firdaus., Fahrurozi. (2014). Analisa Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau. Jurnal FTEKNIK Volume 1 No. 2;

Ignatius O. K., Saadu A. K., dan Emmanuel O. S. (2015). Analysis of Copper Losses Due to Unbalanced Load in a Transformer (a Case Study of New Idumagbo 2 X 15-Mva, 33/11-Kv Injection Substation). IJRRAS journal, vol. 23, no. 1, pp. 46-53;

Jhon Cristian Napitupulu., Panusur S. M. L., Tobing. (2013). Analisa Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull, SINGUDA ENSIKOM Vol. 3 No. 3;

Setiadji, J. S., Machmudsyah T., dan Isnanto Y. (2006). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi. Jurnal Teknik Elektro, vol. 6, no. 1, pp. 68-73;

Simamora, Y., dan Tobing, P. S. M. L. (2014). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-rugi pada Jaringan Tegangan Rendah. Jurnal Singuda Ensikom, vol. 7, no. 3, pp. 137-142;

Situmorang, B. M. (2010). Analisis Biaya Trafo Akibat Rugi-rugi Daya Total dengan Metode Nilai Tahunan (Annual Worth Method). Jurnal Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pp. 1-10;

Sudirham dan Sudaryanto. (1991) Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran. Jurnal Institut Teknologi Bandung, Tim Pelaksana Kerjasama PLNITB;

Surfa Yondri., Tri Artono., Hengki Purnama Sari. (2012). Pengaruh Penyeimbanagn Beban Trafo Distribusi Terhadap Arus Netral, Jurnal Elektron Vol 5 No. 1, ISSN :2085-6989;

Suwardana, I. W., Sutawinaya, I. P., dan Wulandari I. A. R. (2014). Studi Analisis Rugi-Rugi Daya pada Penghantar Netral Akibat Sistem Tidak Seimbang di Jaringan Distribusi Gardu KA 1495 Penyulang Citraland Menggunakan Simulasi Program ETAP 7.0.. Jurnal Logic, vol. 14, no. 3, pp. 157-164;

Tanjung, A. (2015). Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru. Jurnal Sains, Teknologi dan Industri (ISSN: 1693-2390), vol. 12, no. 2, pp. 292-299;

Warman Eddy., Ferdinan Rizky., (2014). Analisa Pemeliharaan Trafo Distribusi Berdasarkan Biaya Rugi-Rugi Daya Dengan Metode Nilai Tahunan, DTE FT USU. Vol. 8;

Winarso. (2014). Estimasi Umur Pakai dan Rugi Daya Transformator. Jurnal Techno (ISSN: 1410-8607), vol. 15, no. 2, pp. 50-55;