

STUDI PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV RAYON YOGYAKARTA

Bernad Sihotang¹ Ir.Wiwik Handajadi² Mujiman³

¹Jurusan Teknik Elektro, FTI Institut Sains & Teknologi AKPRIND

e-mail : sihotang.bernad@yahoo.co.id

INTISARI

Keseimbangan beban adalah apabila ketiga vektor arus/tegangan memiliki nilai yang sama besar dan juga membentuk sudut 120° satu sama lain. Salah satu penyebab yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban adalah pemakaian beban yang dilayani antar fasa transformator distribusi tidak sama besar. Pemakaian beban yang dilayani antar fasa inilah yang menyebabkan ketiga vektor arus maupun tegangannya memiliki nilai yang berbeda walaupun memiliki sudut yang diharapkan yaitu 120° antar fasanya.

Sebelum menentukan besar persentase ketidakseimbangan pada transformator distribusi maka ditentukan terlebih dahulu besar rata-rata persentase pembebanan yang dilayani suatu transformator.

Setelah dianalisis, maka didapatkan besar persentase ketidakseimbangan fasa suatu transformator distribusi pada area penyulang BNL 01 sebesar 81 %, 46 %, 54,3%, 26%, 27,6%. Setelah dilakukannya penyeimbangan beban maka didapatkan penurunan persentase ketidakseimbangan menjadi 10,6 %, 8,3 %, 5 %, 2,3 %, 7,6%.

Kata kunci: Ketidakseimbangan beban, persentase pembebanan

PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sistem tenaga yang dilakukan untuk penyaluran energi listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen atau pelanggan listrik, baik konsumen tingkat besar seperti perindustrian, perhotelan dan konsumen kecil yaitu perumahan penduduk dan industri rumah tangga. Dalam penyaluran tenaga listrik dari suatu pembangkit sampai kepusat beban harus dinaikkan tegangannya, ini berfungsi untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Apabila daya diperbesar maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga kecil. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurunan tegangan pada gardu induk distribusi kemudian tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 380/220 volt.

LANDASAN TEORI

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan untuk menyalurkan daya atau tenaga listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah ataupun sebaliknya dari tegangan rendah ketegangan tinggi. Dalam teori kesetimbangan beban, penyaluran energi listrik kekonsumen langsung diharapkan mampu menyalurkan listrik tanpa adanya gangguan yang disebabkan oleh manusia maupun alam dan gangguan lain. Apabila gangguan yang disebabkan oleh penyebab alam, gangguan tersebut mampu diselesaikan secepat dan seefisien mungkin agar tidak mengganggu penyaluran energi listrik kepengguna yang lain dan tidak dilakukannya pemadaman listrik. Ketidakseimbangan beban disebabkan oleh adanya pemakaian oleh pengguna listrik yang berlebihan antara fasa yang satu dengan yang lain. Contohnya, pada transformator distribusi fasa R melayani beban pada daerah industri perumahan, fasa S melayani beban pada daerah perkantoran dan lampu penerangan jalan dan fasa T melayani beban pada daerah tempat tinggal rumah tangga. Perbedaan pelayanan beban pada transformator distribusi ini yang dapat

menyebabkan ketidakseimbangan pada transformator terjadi. Karena antara fasa, R, S, T berbeda beban yang dilayani. Fasa R dan S melayani beban yang memiliki beban yang paling tinggi. Salah satu dampak apabila ketidakseimbangan beban terus terjadi selama waktu tertentu maka dapat memperpendek umur transformator juga menyebabkan panas yang berlebihan pada transformator.

Dalam penyaluran daya listriknya, suatu transformator menggunakan prinsip kerja sesuai hukum farraday yaitu apabila suatu kumparan primer dialirin arus bolak balik maka kumparan primer tersebut akan menginduksikan inti besi pada transformator. Akibat induksi pada inti besi maka inti besi akan berubah menjadi magnet. Induksi dari inti besi tersebut menghasilkan fluks magnet sehingga menginduksikan kumparan sekunder dan menghasilkan beda potensial pada kumparan sekunder tersebut. Fluks magnet yang berubah ubah pada inti besi tersebut menghasilkan gaya gerak listrik atau GGL. Besarnya gaya gerak listrik yang dihasilkan adalah:

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \dots \dots \dots (1.1)$$

Dimana:

- e_p = gaya gerak listrik
- N_p = Kumparan primer
- ϕ = harga fluks yang berubah ubah

Besarnya gaya gerak listrik pada kumparan sekunder adalah:

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \dots \dots \dots (1.2)$$

Dimana:

- e_s = gaya gerak listrik
- N_s = Kumparan sekunder
- ϕ = harga fluks yang berubah ubah

Sehingga apabila fluks listrik pada saat t dinyatakan dengan persamaan $\phi(t) = \phi_{max} \sin \omega t$ maka harga fluks maksimum pada kumparan primer adalah:

$$\text{Maka, } E_p = 4,44 f N_p \phi_{max} \dots \dots \dots (1.3)$$

Dengan cara yang sama, maka harga gaya gerak listrik maksimum pada kumparan sekunder adalah:

$$E_s = 4,44 f N_s \phi_{max} \dots \dots \dots (1.4)$$

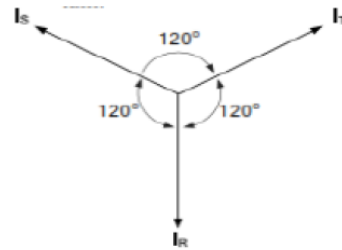
Apabila transformator dianggap ideal, sehingga tidak terdapat rugi-rugi daya maka daya input dapat dianggap sama dengan daya output yang menjadi:

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (1.5)$$

Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud beban dalam keadaan setimbang adalah keadaan dimana:

- a. Ketiga vektor arus/tegangan adalah sama besar.
- b. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain yang terlihat seperti pada Gambar 1.1 sebagai berikut.

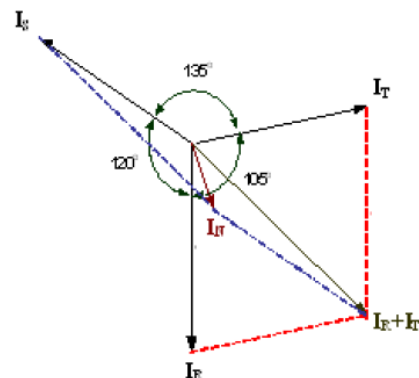


Gambar 1.1 Vektor diagram arus keadaan seimbang

Terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral.

Sedangkan pada keadaan yang tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat dalam keadaan seimbang tidak terpenuhi. Ada tiga keadaan tidak seimbang yaitu:

- a. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- b. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- c. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. Vektor keadaan tidak seimbang dapat dilihat pada Gambar 1.2 sebagai berikut



Gambar 1.2 Vektor diagram keadaan tidak seimbang

Pada Gambar 1.2 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah tidak

sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Seimbang

Akibat pembebanan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika di hantaran netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada transformator tidak seimbang. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasanya dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya aktif dapat dinyatakan pada persamaan 1.7:

$$P = 3 VI \cos \varphi \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (1.6)$$

Dimana:

- P = Daya aktif pada sisi kirim (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- φ = Faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Apabila tegangan dan faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah V' dan φ' , maka besarnya daya pada ujung terima adalah:

$$P' = 3V'I \cos \varphi' \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (1.7)$$

Dimana:

- P' = Daya aktif pada sisi terima (Watt)
- V' = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- φ' = Faktor daya

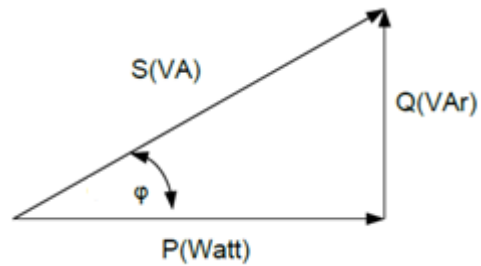
Faktor Daya

Pengertian faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Dari pengertian tersebut, faktor daya tersebut dapat dirumuskan dalam persamaan 1.8_{abc}:

$$\text{faktor daya } (\cos \varphi) = \left(\frac{\text{daya aktif}}{\text{daya semu}} \right) \dots \dots \dots (1.8a)$$

$$\cos \varphi = \left(\frac{P}{S} \right) \dots \dots \dots (1.8b)$$

$$\cos \varphi = \left(\frac{V.I \cos \varphi}{V.I} \right) \dots \dots \dots (1.8c)$$



Gambar 1.3 Segitiga Daya

Dimana:

$$\text{Daya semu} = V.I \text{ (VA)} \dots \dots \dots (1.9a)$$

$$\text{Daya aktif} = V.I \cos \varphi \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (1.9b)$$

$$\text{Daya reaktif} = V.I \sin \varphi \text{ (VAR)} \dots \dots \dots (1.9c)$$

Perhitungan Arus Beban Penuh Dan Arus Hubung Singkat

Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi menjadi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Telah diketahui bahwa daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan dalam persamaan 1.13:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (1.10)$$

Dimana:

- S = Daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi primer transformator (kV)
- I = Arus jala-jala (A)

Dengan demikian untuk menghitung arus beban penuh dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \dots \dots \dots (1.11)$$

Dimana:

- I_{FL} = Arus beban penuh (A)
- S = Daya transformator
- V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Dengan demikian untuk menghitung persentase pembebanan adalah :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} 100\% \dots \dots \dots (1.12)$$

Dimana:

- %b = Pesentase pembebanan (%)
- I_{ph} = Arus fasa (A)
- I_{FL} = Arus beban penuh (A)

Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Pada perhitungan ketidakseimbangan beban menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{rata\ rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots \dots \dots (1.13)$$

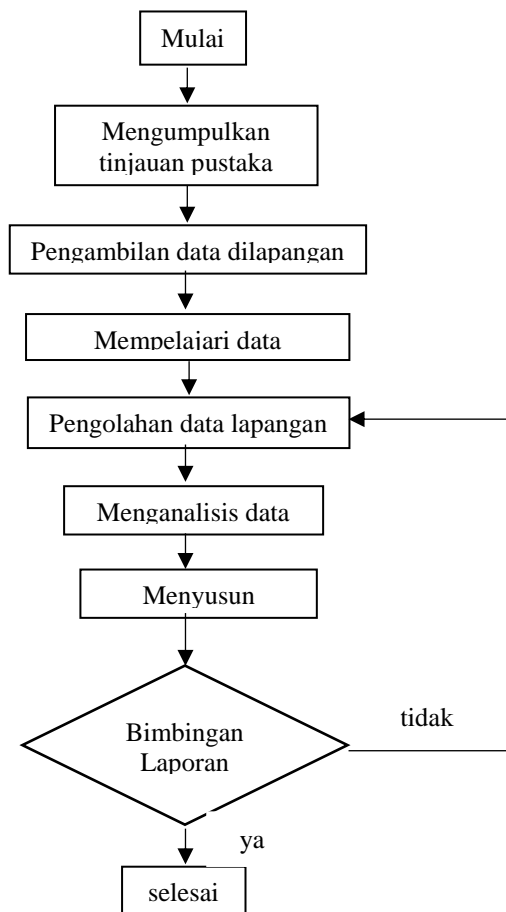
Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-

rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

$$= \left\{ \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \right\} 100 \% \dots \dots \dots (1.14)$$

DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Didalam Menyelesaikan penelitian diperlukan diagram alir agar lebih memudahkan menyelesaikan pembuatan laporan. Adapun diagram alir yang digunakan terlihat pada Gambar 1.4 sebagai berikut.



Gambar 1.4 Diagram Alir Penelitian

ANALISIS DATA TRANSFORMATOR

Adapun data teknis transformator yang digunakan terlihat pada Tabel 1.1 yaitu data teknis Transformator Distribusi Penyulang Bantul 01 (BNL 01).

Tabel 1.1 Data teknis transformator distribusi penyulang BNL 01

| Me rk | Lok asi | Daya (kVA) | H V | LV | Z | Co olin g |
|--------------|----------------|------------|--------|--------|-----|-----------|
| BD | Nga mpil an | 100 | 2 0 kV | 0,4 kV | 4 % | ON AN |
| TR AF IN D O | Gen ding an | 150 | 2 0 kV | 0,4 kV | 4 % | ON AN |
| U NI N D O | Tam an Kota | 100 | 2 0 kV | 0,4 kV | 4 % | ON AN |
| SI NT RA | Jl. S. Par man | 100 | 2 0 kV | 0,4 kV | 4 % | ON AN |
| HI C O | Jl. Arju no | 100 | 2 0 kV | 0,4 kV | 4 % | ON AN |

Data Analisa Pembebanan

Data pembebanan Transformator Distribusi Penyulang BNL 01 terlihat pada Tabel 1.2 sebagai berikut. Data pembebanan transformator pada setiap penyulang berbeda jumlah pembebanan yang didapatkan pada setiap fasa penyulang. Hal inilah yang mengakibatkan dapat mengalirnya arus netral pada sistem jaringan yang dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada penghantar distribusi.terlihat pada tabel 1.2 bahwa pada fasa T mengalami pembebanan yang paling tinggi

Tabel 1.2. Data pembebanan transformator distribusi penyulang bantul sebelum dilakukan penyeimbangan beban

| No | Penyula ng | Lokasi | I _R (A) | I _S (A) | I _T (A) |
|----|------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | BNL01 | Ngampilan | 12,2 | 14,0 | 77,9 |
| 2 | BNL01 | Gendingan | 37,7 | 14,1 | 14,8 |
| 3 | BNL01 | Taman Kota | 6,0 | 48,0 | 42,0 |
| 4 | BNL01 | Jl. S. Parman | 73,0 | 112,0 | 57,0 |
| 5 | BNL01 | Jl. Arjuno | 43,0 | 61,0 | 25,0 |

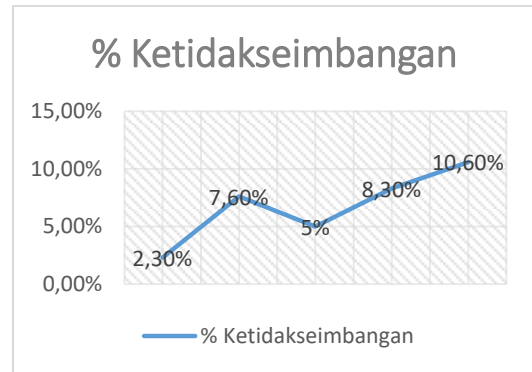
Analisa Pembebanan pada Transformator

Dalam melaksanakan penyeimbangan pada suatu transformator, terlebih dahulu dihitung besarnya pembebanan yang dilayani oleh transformator tersebut. Besarnya arus jala-jala pada transformator dapat dihitung menggunakan rumus dan dapat disesuaikan dengan menggunakan data teknis suatu transformator. Adapun besarnya persentase ketidakseimbangan pembebanan transformator distribusi diarea penyulang BNL 01 sebelum dilakukannya penyeimbangan terlihat pada tabel. Besarnya persentase disebabkan oleh pembebanan yang dilayani oleh suatu transformator distribusi adalah berbedanya pembebanan antar fasa yang dilayani. Perbedaan pembebanan antar fasa dapat menyebabkan bahwa besar ketidakseimbangan beban yang didapatkan menyebabkan persentase pembebanan pada transformator sangat besar. Pada lokasi ngampilan sebesar 81.66 %. Pembebanan ini didapatkan dikarenakan pada sekitar lokasi terdapat banyaknya jumlah pengguna listrik yang besar serta lampu penerangan yang banyak yang dapat menyebabkan perbedaan pembebanan antar fasa.

Tabel 1.3 Persentase Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi Penyulang BNL 01

| No | Penyulang | Lokasi | % Ketidakseimbangan | $I_{rata-rata}$ |
|----|-----------|---------------|---------------------|-----------------|
| 1 | BNLO 1 | Ngampilan | 81,66 % | 34,7 A |
| 2 | BNLO 1 | Gendingan | 46,3 % | 22,2 A |
| 3 | BNLO 1 | Taman Kota | 54,3 % | 32 A |
| 4 | BNLO 1 | Jl. S. Parman | 26 % | 80,66 A |
| 5 | BNLO 1 | Jl. Arjuno | 27,6 % | 43 A |

Pada gambar 1.4 terlihat ketidakseimbangannya pembebanan yang dihasilkan oleh area penyulang BNL 01. Dari kelima lokasi yang didapatkan terlihat bahwa area ngampilan memiliki persentase pembebanan yang cukup besar.



Gambar 1.4 Grafik persentase ketidakseimbangan beban pada transformator penyulang BNL 01

Analisa Untuk Tahap Penyeimbangan

Dalam melaksanakan tahapan penyeimbangan dilakukan terlebih dahulu analisa berapa besarnya rata-rata pembebanan yang dilayani oleh suatu transformator tersebut. Analisa dimaksudkan supaya dapat melihat berapa persentase pembebanan yang harus dilakukan penyeimbangan. Setelah didapatkannya rata-rata pembebanan yang dilayani, maka penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan melihat dimana fasa yang mengalami pembebanan yang mengalami pembebanan paling tinggi dan juga pembebanan yang paling rendah. Penyeimbangan dilakukan dengan menambahkan pembebanan pada fasa yang mengalami pembebanan rendah, sedangkan fasa yang mengalami pembebanan yang paling tinggi dilakukan dengan menurunkan nilai pembebanan mendekati nilai patokan yaitu nilai rata-rata pembebanan suatu transformator. Penyeimbangan dilakukan dikarenakan dapat menyebabkan panas yang berlebihan yang dapat mengakibatkan tidak tahannya beban lebih selama waktu tertentu.

Tabel 1.4 Data Pembebanan Transformator Distribusi Sesudah Dilakukan Penyeimbangan Penyulang BNL 01

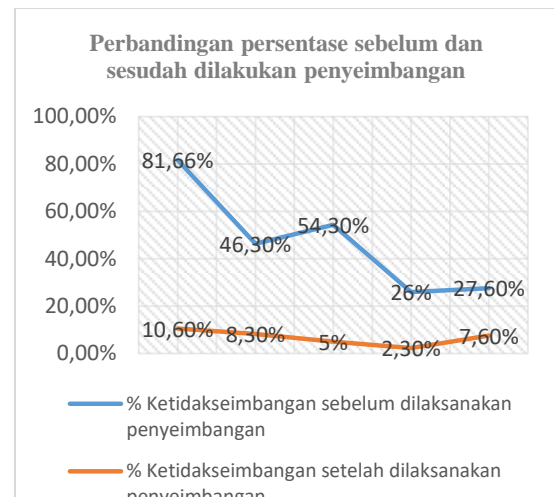
| No | Penyulang | Lokasi | % Ketidakseimbangan | $I_{rata-rata}$ |
|----|-----------|---------------|---------------------|-----------------|
| 1 | BNLO 1 | Ngampilan | 10,6 % | 29 A |
| 2 | BNLO 1 | Gendingan | 8,3 % | 20,6 A |
| 3 | BNLO 1 | Taman Kota | 5 % | 29,3 A |
| 4 | BNLO 1 | Jl. S. Parman | 2,3 % | 79,3 A |
| 5 | BNLO 1 | Jl. Arjuno | 7,6 % | 41 A |

Setelah didapatkan arus pembebanan setelah dilakukan penyeimbangan maka dapat dihitung besarnya persentase yang didapatkan setelah dilakukannya penyeimbangan. Besarnya persentase pembebanan setelah dilakukannya penyeimbangan adalah terlihat pada tabel 1.5.

Tabel 1.5 Persentase Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi Penyulang BNL 01 Setelah Dilakukan Penyeimbangan

| No | Penyulang | Lokasi | I_R (A) | I_S (A) | I_T (A) |
|----|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | BNL01 | Ngampilan | 28,0 | 26,0 | 34,0 |
| 2 | BNL01 | Gendingan | 23,0 | 18,0 | 21,0 |
| 3 | BNL01 | Taman Kota | 27,0 | 30,0 | 31,0 |
| 4 | BNL01 | Jl. S. Parman | 79,0 | 82,0 | 77,0 |
| 5 | BNL01 | Jl. Arjuno | 43,0 | 45,0 | 37,0 |

Pada gambar terlihat perbedaan grafik pembebanan yang dihasilkan sebelum dilaksanakan penyeimbangan pembebanan dan sesudah dilaksanakan penyeimbangan pembebanan. Terlihat bahwa besarnya nilai persentase setelah dilaksanakan penyeimbangan menurun. Hal ini sangat baik bagi suatu transformator untuk mempertahankan kemampuan transformator ataupun dapat membuang rugi-rugi panas yang berlebihan pada transformator.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Persentase Pembebanan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Penyeimbangan

KESIMPULAN

Setelah dilakukannya pembahasan mengenai studi pengaruh ketidakseimbangan pada transformator distribusi 20 kV di area penyulang BNL 01 maka penulis dapat membuat kesimpulan sebagai berikut:

- Dari kelima lokasi yang dilakukan pada studi pengaruh ketidakseimbangan, didapatkan ketidakseimbangan terbesar yang terjadi pada area penyulang BNL 01 terletak pada lokasi di Ngampilan yaitu sebesar 81,66%.
- Timbulnya ketidakseimbangan pada transformator distribusi di area penyulang BNL 01 dikarenakan beban yang dilayani oleh transformator distribusi pada setiap antar fasanya berbeda yaitu rata-rata total sebesar 42,5 A.
- Untuk melaksanakan penyeimbangan pada transformator yang mengalami ketidakseimbangan maka dapat dilakukan dengan mencari terlebih dahulu besar nilai rata-rata pembebanan

- yang dilayani oleh suatu transformator tersebut.
- d. Setelah dilaksanakannya penyeimbangan maka, perubahan nilai yang didapat pada transformator mengalami penurunan untuk beban pada fasa yang besar dan menaikkan pada beban fasa yang kecil.
 - e. Besar rata-rata perubahan yang didapat setelah dilaksanakan penyeimbangan adalah sebesar 15 % - 45 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Asri Rishal, 2013, Studi oprimasi aliran daya saluran 29 kV pada PT.PLN(Persero) Area Yogyakarta Rayon Sedayu dengan menggunakan etap 7.0.0. skripsi. Institut sains & teknologi akprind yogyakarta. (Hal 9-11)
- [2]Gönen Turan, 1986, "*Electric Power Distribution System Engineering*", Singapore : McGraw – Hill Inc.
- [3]Kadir Abdul, 1989, "*Transformator*", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta
- [4]Pahala Elis, 2010, Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan
- [5]Rijono Yon, 1997, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Penerbi Andi. Yogyakarta
- [6]Sandewa Verryanto, 2013, Analisis keseimbangan dan konfigurasi beban sistem distribusi 20 kV dengan menggunakan etap 7.0.0. Skripsi. Institut Sains & teknologi akprind yogyakarta. (hal 58-59)
- [7]Zuhal, 2000, Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [8]Sitepu Juliana, 2011, Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi PLN Ranting Lubuk Pakam, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan