

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV DAN SOLUSINYA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH

Zainal Sya'roni

Progam Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : zainalsyaroni@mhs.unesa.ac.id

Tri Rijanto

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : tririjanto@unesa.ac.id.

Abstrak

Kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun terus bertambah. Besarnya daya yang diminta pun berbeda-beda, yang menyebabkan terjadinya pembagian beban tidak merata. Hal ini menyebabkan distribusi beban masing-masing fasa harus dijaga agar seimbang. Namun, pembebanan masing-masing fasa tidaklah selalu seimbang. Salah satu penyebabnya adalah banyaknya beban satu fasa yang beroperasi tidak merata. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi ketidakseimbangan beban transformator distribusi, untuk mengetahui pengaruh arus netral terhadap rugi-rugi daya dan solusi ketidakseimbangan pada jaringan tegangan rendah. Penelitian ini dilakukan di jaringan distribusi PLN Rayon Rungkut area Surabaya Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dan hasil pengukuran didapatkan hasil ketidakseimbangan beban yang besar selisih arus antar fasa pada BUS 1 atau transformator BE 1438, fasa R ke S sebesar 38,4 A, S ke T sebesar 24,4 A dan R ke T sebesar 14,6 A, kemudian setelah dilakukan perhitungan, presentase Ketidakseimbangan beban terbesar dengan kode BE 1192 ketidakseimbangan beban mencapai 25.6 %, dan rugi-rugi daya sebesar 1.027 KW dengan presentase rugi-rugi sebesar 9.14 %. Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan arus netral bertambah besar sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya juga bertambah besar. Untuk itu solusi dari ketidakseimbangan beban adalah dengan memindahkan beban sehingga pembebanan antar fasa bisa merata.

Kata Kunci : jaringan distribusi, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya.

Abstract

Electrical energy needs from years to years continues to increase. The amount of power requested is different, which causes an uneven distribution of loads. This causes the load distribution of each phase must be kept balanced. However, the loading of each phase is not always balanced. One of the causes is the number of one-phase loads that operate unevenly. This thesis aims to obtain information the load imbalance of the distribution transformer, to determine the effect of neutral currents on power losses and solutions of imbalance in low voltage networks. This research was conducted at the PLN Rayon Rungkut distribution network in the South Surabaya area. The results of load imbalance analysis using ETAP 12.6.0 and measurement results obtained a large load imbalance, the difference between the phase currents in BUS 1 or transformer BE 1438, the R to S phase is 38.4 A, S to T is 24.4 A and R to T is 14.6 A, then after calculation, the percentage of the biggest load imbalance with code BE 1192 of imbalance load reached 25.6%, and power losses of 1,027 KW with a percentage of losses of 9.14%. The imbalance of the load on the transformer causes neutral currents to increase so that the power losses also increase. For this reason, the solution to load imbalance is to move the load so that the loading between the phases can be evenly distributed.

Keywords: distribution network, load imbalance, power losses.

PENDAHULUAN

Distribusi sistem tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari sistem penyaluran daya listrik yang memiliki karakteristik khusus. Berbeda dengan saluran transmisi, saluran distribusi hanya menggunakan level tegangan menengah sehingga *drop* tegangan yang terjadi pada

saluran relatif besar dan umumnya menggunakan sistem jaringan radial. Selain itu saluran distribusi merupakan bagian dari penyaluran daya yang langsung terhubung dengan beban, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan sistem akibat beban yang tidak seimbang sangat berpengaruh

Distribusi daya pada sistem distribusi tenaga listrik dialirkan melalui sistem penyaluran tenaga listrik yaitu

dari gardu hubung ke pelanggan. Secara garis besar, sistem distribusi dibagi menjadi dua bagian, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer merupakan jaringan distribusi tenaga listrik yang memiliki sistem jaringan tegangan menengah (JTM) sebesar 20 kV. Jaringan ini dimulai dari sisi sekunder tegangan menengah (TM) trafo daya yang terdapat pada gardu induk (GI) hingga sisi primer pada trafo distribusi pada gardu hubung (GH).

Dalam sistem distribusi permintaan daya oleh konsumen terus bertambah. Besarnya daya yang diminta pun tidak selalu sama, yang menyebabkan terjadinya pembagian beban yang tidak merata. Hal ini menyebabkan distribusi beban masing-masing fasa harus dijaga agar seimbang. Namun pada kenyataannya, pembebanan masing-masing fasa tidaklah selalu seimbang, Salah satu penyebabnya adalah banyaknya beban satu fasa yang beroperasi tidak merata. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang rugi-rugi daya, ketidakseimbangan beban merupakan salah satu faktor yang menyebabkan rugi-rugi daya pada saluran.

Dengan demikian diperlukan analisis sistem tenaga listrik untuk mengetahui berapa ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi sehingga bisa dilakukan solusi melakukan penyeimbang beban dengan cara penataan jaringan tegangan rendah sehingga antar fasa bisa dikatakan seimbang dan mengurangi rugi-rugi daya akibat munculnya arus netral.

KAJIAN TEORI

Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan magnet elektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah menyalurkan tegangan dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu.

Transformator digunakan secara luas, baik dalam sistem tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tenaga yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk memisahkan satu rangkaian yang lain, menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian (Zuhail, 2000:43).

Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20KV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380V.

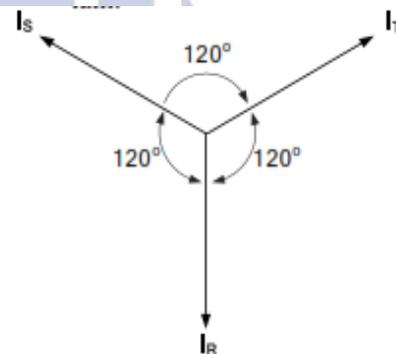
Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantara garis gaya magnet (flux magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan. Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber lilitan AC pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet yang bolak-balik juga. dengan adanya gaya magnet disekita kumparan primer akan timbul flux magnet. Adanya flux magnet pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya geraklistrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi atau lebih rendah dari gaya listrik primer. (Rijono, 1997:5).

Ketidakseimbangan Beban

Pengertian Beban Tidak Seimbang, yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga Phasor arus/tegangan adalah sama besar.
2. Ketiga Phasor saling membentuk sudut 120° satu sama lain

Pada Gambar 1 menunjukkan phasor diagram arus keadaan arus seimbang.



Gambar 1. Phasor diagram arus keadaan arus seimbang

(Sumber: Stevenson, 1990)

Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga Phasor arusnya ($I_R I_S I_T$)

Dimana:

I_R = Arus pada fasa R (ampere)

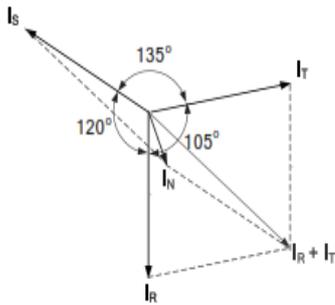
I_S = Arus pada fasa S (ampere)

I_T = Arus pada fasa T (ampere)

Adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

1. Ketiga Phasor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga Phasor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga Phasor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2. Phasor diagram arus keadaan tidak seimbang (Sumber: Stevenson, 1990)

Dari Gambar 2 menunjukkan Phasor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga Phasor arusnya (I_R I_S I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_T) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, diperlukan berbagai peralatan listrik. Berbagai peralatan listrik ini dihubungkan satu sama lain mempunyai inter relasi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik disini adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi (Marsudi, 2006:7).

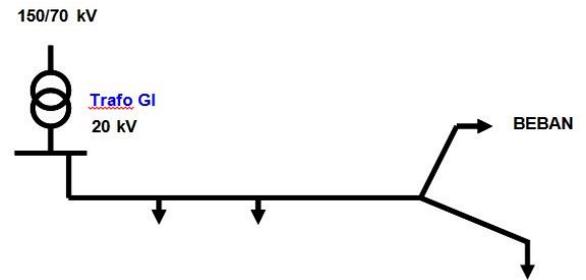
Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu daripembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusilangsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan kekonsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (Suswanto, 2009:1).

Berdasarkan konfigurasi saluran ada beberapa jenis saluran distribusi tegangan menengah yang digunakan yaitu: sistem saluran distribusi *radial*, sistem saluran distribusi *loop*, sistem saluran distribusi *spindel*.

1. Sistem Saluran Distribusi Radial

Pada saluran *radial* mempunyai satu jalan aliran daya ke beban. Sistem ini biasa dipakai untuk melayani daerah beban dengan kerapatan beban rendah dan sedang. Pada sistem saluran *radial* sebuah *feeder* menyalurkan tenaga listrik yang terpisah antara *feeder* satu dengan *feeder* yang lainnya. Sistem ini mempunyai sebuah saluran yang ditarik dari suatu sumber daya atau gardu induk dan

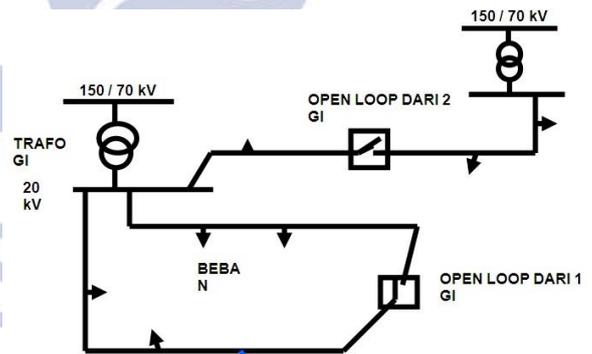
saluran dicabangkan untuk beban-beban yang dilayani. Pada Gambar 4 menunjukkan sistem saluran distribusi *Radial*.



Gambar 3. Sistem saluran distribusi *loop* (Sumber: Daman Suswanto, 2009)

2. Sistem Saluran Distribusi Loop

Konfigurasi *loop* merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (*loop*). Pada konfigurasi ini bisa terdapat lebih dari satu busbar GI, dan masing-masing penyulangnya membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI. Keuntungan dari konfigurasi *loop* ini adalah pasokan daya listrik dari GI lebih terjamin. Sebab jika salah satu GI mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari GI yang lain yang tidak mengalami gangguan. dan GI yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa takut akan mengganggu suplai daya ke gardu distribusi. Pada Gambar 4 menunjukkan sistem saluran distribusi *loop*.



Gambar 4. Sistem saluran distribusi *loop* (Sumber: Daman Suswanto, 2009)

3. Sistem Saluran Distribusi Spindel

Sistem saluran distribusi *spindel* merupakan sistem perkembangan dari sistem saluran *loop*, dimana perluasan ini berupa penambahan saluran utama yang kesemuanya bertemu pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan sebuah Gardu Hubung (GH). Perbedaan sistem saluran *loop* dengan sistem saluran *spindel* yaitu pada sistem saluran *loop* besar ukuran penampang saluran penghantar harus mampu untuk memikul seluruh beban sedangkan pada sistem saluran *spindel* besar penampang penghantar berdasarkan atas jumlah beban yang paling besar pada saluran utama.

Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi

Rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Untuk mengurangi rugi besi haruslah diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir di dalamnya. Rugi-rugi daya adalah besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan, yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang diterima. Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya (Tanjung, 2014).

Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi satu fasa dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \tag{1}$$

Keterangan:

- ΔP = Rugi daya pada jaringan (watt)
- I = Arus beban pada jaringan (ampere)
- R = Tahanan murni (ohm)

Untuk rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta P = \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \tag{2}$$

Rugi-rugi daya listrik pada sistem distribusi dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain faktor konfigurasi dari sistem jaringan distribusi, transformator, kapasitor, isolasi dan rugi – rugi daya listrik dikategorikan dua bagian yaitu rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif dibawah ini.

$$S = P \pm jQ \tag{3}$$

Dimana :

- P = Rugi-rugi daya aktif (watt)
- Q = Rugi-rugi daya reaktif (VAR)
- S = Daya semu (VA)

Rugi-rugi daya listrik tersebut di atas (VA) akan mempengaruhi tegangan kerja sistem dan besarnya rugi-rugi daya. (Simamora, 2013)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengkaji teori-teori yang ada, berdasarkan fenomena nyata sehingga muncul sebab permasalahan. Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif yaitu penelitian yang melakukan pengamatan pada objek untuk mengumpulkan data-data yang disajikan dengan angka-angka untuk keperluan dalam penelitian.

Jenis penelitian ini adalah deskriptif. Sesuai dengan bentuknya, penelitian ini bertujuan untuk mencoba melakukan pengkajian terhadap data-data teknis yang terjadi pada sistem tenaga listrik, yakni ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 kV, PT. PLN (Persero) APD (Area Pengatur Distribusi) Jawa Timur, penyulang Bandilan.

Teknik Pengumpulan Data

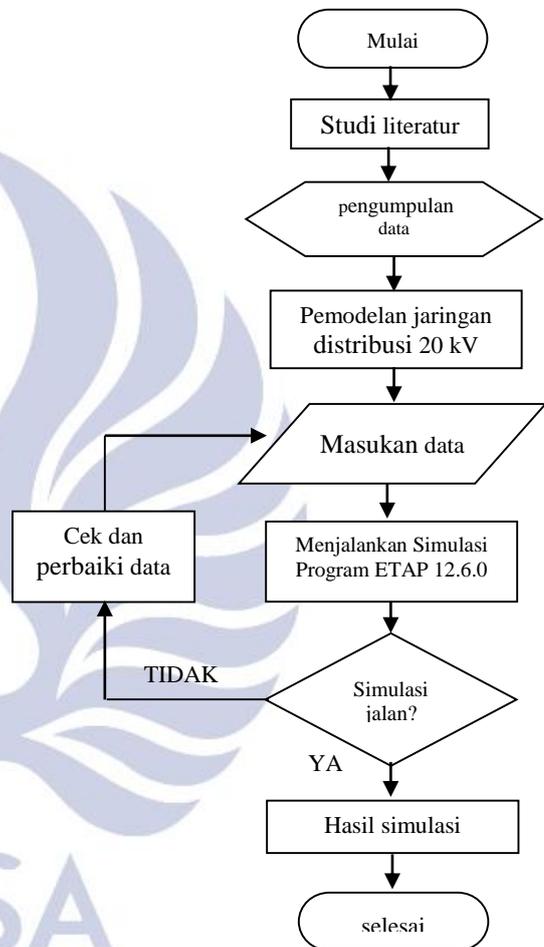
Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam suatu

penelitian. Dalam penelitian ini penulis menggunakan dua metode pengumpulan data yaitu:

1. Metode Wawancara
2. Metode Obsevasi
3. Studi Litelatur

Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir

langkah pengerjaan tugas akhir “Analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 kV dan solusinya pada jaringan tegangan rendah” adapun diagram alir ditujukan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir pengerjaan penelitian (Sumber: Data penelitian, 2018)

Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan software ETAP 12.6.0 dengan mempelajari seluruh data yang tersedia dari berbagai sumber, yaitu wawancara, observasi dan studi literature yang sudah ditulis dalam catatan lapangan, dokumen pribadi dan sebagainya. Setelah semua data terkumpul selanjutnya membuat rancangan penelitian melalui beberapa tahapan.

Rancangan penelitian yang telah dibuat sebelumnya, prosedur untuk tiap tahapan akan dipaparkan sebagai berikut:

1. Pemodelan *Single Line Diagram* Penyulang Bandilan dengan menggunakan software ETAP 12.6.0.

2. Masukkan Data Parameter
 - a. Data Suplai dari GI Rungkut :
 - 1) Daya nyata (Watt)
 - 2) Tegangan (V)
 - 3) Frekuensi (Hz)
 - b. Data transformator :
 - 1) Tegangan (V)
 - 2) Daya semu (VA)
 - 3) Arus (A)
 - c. Data beban terpasang

3. Analisis Ketidakseimbangan Beban

Peneliti melakukan analisis ketidakseimbangan beban menggunakan *software ETAP 12.6.0* dengan berbagai kondisi dan gangguan, adapun kondisinya sebagai berikut:

- a. Terjadi ketidakseimbangan beban.
- b. Presentase ketidakseimbangan beban pada sistem
- c. Rugi-rugi Daya pada transformator.

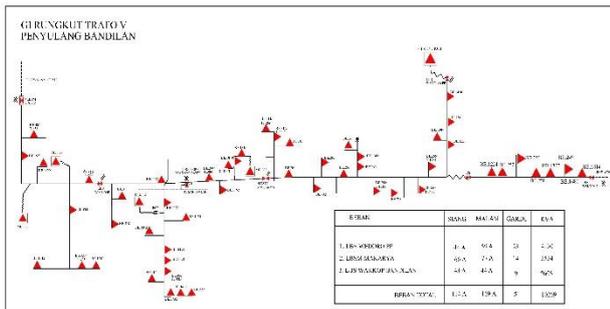
4. Presentase Ketidakseimbangan Beban

Pada tahap ini akan ditampilkan berapa presentase ketidakseimbangan beban pada sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Single Line Diagram Penyulang Bandilan PT.PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Single line diagram penyulang bandilan merupakan gambaran asli yang sesuai data pada lapangan. Pada Gambar 6 merupakan single line diagram pada penyulang bandilan.



Gambar 6. Single line penyulang bandilan
(Sumber: PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan, 2017)

Pada tabel 1 berikut merupakan pembagian beban pada penyulang Bandilan dengan total pembebanan yang berbeda pada siang dan malam hari, dimana penyulang Bandilan dibagi menjadi 3 area pembebanan yang mempunyai kapasitas yang berbeda.

Tabel 1. Pembagian beban pada penyulang bandilan

| Beban | Siang | Malam | Gardu | KVA |
|--------------------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| LBS Wedoro PP | 44 A | 59 A | 28 | 4130 |
| LBSM Makarya | 66 A | 77 A | 14 | 3534 |
| LBS Bandilan | 43 A | 44 A | 9 | 2605 |
| Beban Total | 114 A | 179 A | 51 | 10269 |

Data transformator pada penyulang Bandilan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.

Pada sistem distribusi penyulang bandilan menggunakan transformator dengan kapasitas berbeda yaitu transformator dengan kapasitas 50 KVA, 100 KVA, 160 KVA, 200 KVA dan 250 KVA. Sedangkan tegangan operasi yang dipakai adalah 20 kV / 0.4 kV, pada penyulang Bandilan Terdapat 41 transformator yang melayani pelanggan JTM (Jaringan Tegangan Menengah) dan pelanggan JTR (Jaringan Tegangan Rendah). Pada Tabel 2 akan ditunjukkan data mengenai transformator yang ada pada penyulang Bandilan.

Tabel 2. Kapasitas Transformator penyulang Bandilan.

(Sumber: PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan, 2017)

| Kode Gardu | Merk Trafo | Kapasitas Trafo (KVA) |
|------------|------------|-----------------------|
| BE 1438 | STARLITE | 100 |
| BE 254 | B D | 160 |
| BE 1384 | TRAFINDO | 200 |
| BE 1221 | UNINDO | 160 |
| BE 255 | STARLITE | 160 |
| BE 256 | B D | 50 |
| BE 258 | UNINDO | 50 |
| BE 259 | STARLITE | 100 |
| BE 1388 | TRAFINDO | 200 |
| BE 261 | STARLITE | 200 |
| BE 262 | UNINDO | 100 |
| BE 263 | TRAFINDO | 100 |
| BE 264 | B D | 200 |
| BE 312 | B D | 250 |
| BE 313 | TRAFINDO | 160 |
| BE 311 | B D | 200 |
| BE 1192 | B D | 50 |
| BE 1819 | B D | 100 |
| BE 1702 | B D | 200 |
| BE 1818 | B D | 100 |
| BE 266 | UNINDO | 200 |
| BE 1132 | B D | 200 |
| BE 1135 | B D | 200 |
| BE 1051 | B D | 100 |
| BE 1124 | B D | 100 |
| BE 962 | B D | 200 |
| BE 316 | STARLITE | 50 |
| BE 1732 | TRAFINDO | 100 |
| BE 322 | B D | 200 |
| BE 317 | STARLITE | 200 |
| BE 318 | UNINDO | 250 |
| BE 325 | B D | 200 |
| BE 324 | B D | 160 |
| BE 323 | B D | 250 |
| BE 1310 | B D | 100 |
| BE 1512 | UNINDO | 100 |
| BE 1429 | UNINDO | 200 |
| BE 1571 | UNINDO | 100 |
| BE 501 | B D | 200 |
| BE 1307 | B D | 160 |
| BE 1680 | TRAFINDO | 100 |

Data beban pada penyulang Bandilan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.

Berikut ini akan ditunjukkan data mengenai beban-beban listrik yang ada di Penyulang Bandilan, Seperti yang ditunjukkan Tabel 3 berikut ini beban transformator yang beroperasi untuk menunjang sistem distribusi penyulang bandilan sebelum masuk ke beban.

Tabel 3. Data beban dan arus penyulang Bandilan (Sumber: PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan, 2017)

| Kode Gardu | Beban Trafo (KVA) | | | Arus Trafo (A) | | |
|------------|-------------------|-------|-------|----------------|-----|-----|
| | R | S | T | R | S | T |
| BE 1438 | 18,7 | 9,90 | 15,40 | 85 | 45 | 70 |
| BE 254 | 41,80 | 38,72 | 42,02 | 190 | 176 | 191 |
| BE 1384 | 47,30 | 44,00 | 51,48 | 215 | 200 | 234 |
| BE 1221 | 5,50 | 9,02 | 9,02 | 25 | 41 | 41 |
| BE 255 | 29,70 | 29,70 | 26,40 | 135 | 135 | 120 |
| BE 256 | 9,24 | 9,02 | 10,10 | 42 | 41 | 46 |
| BE 258 | 9,90 | 13,86 | 11,44 | 45 | 63 | 52 |
| BE 259 | 13,86 | 14,08 | 0,42 | 63 | 64 | 44 |
| BE 1388 | 50,60 | 37,40 | 27,94 | 230 | 170 | 127 |
| BE 261 | 19,80 | 16,28 | 20,46 | 90 | 74 | 93 |
| BE 262 | 11,22 | 11,00 | 10,34 | 51 | 50 | 47 |
| BE 263 | 9,02 | 8,80 | 8,80 | 41 | 40 | 40 |
| BE 264 | 64,02 | 62,92 | 61,60 | 291 | 286 | 280 |
| BE 312 | 56,10 | 47,96 | 49,06 | 255 | 218 | 223 |
| BE 313 | 27,50 | 24,20 | 38,50 | 125 | 110 | 175 |
| BE 311 | 19,58 | 14,52 | 24,20 | 89 | 66 | 110 |
| BE 1192 | 2,20 | 4,18 | 4,40 | 10 | 19 | 20 |
| BE 1819 | 30,80 | 20,90 | 29,04 | 140 | 95 | 132 |
| BE 1702 | 40,04 | 41,80 | 41,14 | 182 | 190 | 187 |
| BE 1818 | 8,36 | 1,98 | 7,92 | 38 | 9 | 36 |
| BE 266 | 60,28 | 46,20 | 46,86 | 274 | 210 | 213 |
| BE 1132 | 42,68 | 50,60 | 55,66 | 194 | 230 | 253 |
| BE 1135 | 19,80 | 16,06 | 18,26 | 90 | 73 | 83 |
| BE 1051 | 27,94 | 24,42 | 26,62 | 127 | 111 | 121 |
| BE 1124 | 4,62 | 2,42 | 2,86 | 21 | 11 | 13 |
| BE 962 | 52,80 | 51,92 | 53,24 | 240 | 236 | 242 |
| BE 316 | 7,48 | 4,84 | 5,72 | 34 | 22 | 26 |
| BE 1732 | 13,64 | 14,30 | 15,18 | 62 | 65 | 69 |
| BE 322 | 3,74 | 3,96 | 3,96 | 17 | 18 | 18 |
| BE 317 | 58,30 | 51,26 | 51,04 | 265 | 233 | 232 |
| BE 318 | 53,68 | 53,68 | 49,28 | 244 | 244 | 224 |
| BE 325 | 41,36 | 30,80 | 44,00 | 188 | 140 | 200 |
| BE 324 | 45,98 | 51,92 | 50,38 | 209 | 236 | 229 |
| BE 323 | 48,62 | 61,60 | 60,06 | 221 | 280 | 273 |
| BE 1310 | 29,04 | 31,02 | 33,44 | 132 | 141 | 152 |
| BE 1512 | 17,82 | 19,14 | 29,48 | 81 | 87 | 134 |
| BE 1429 | 5,50 | 2,64 | 4,18 | 25 | 12 | 19 |
| BE 1571 | 15,40 | 12,54 | 15,40 | 70 | 57 | 70 |
| BE 501 | 7,92 | 11,88 | 11,66 | 36 | 54 | 53 |
| BE 1307 | 22,22 | 2,86 | 16,28 | 101 | 13 | 74 |
| BE 1680 | 2,86 | 2,86 | 4,40 | 13 | 13 | 20 |

Hasil Penelitian perhitungan presentase ketidakseimbangan beban transformator pada penyulang bandilan

Berikut merupakan perhitungan pada salah satu penyulang bandilan, Data pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil pengukuran transformator BE1192 (Sumber: PT. PLN (Persero) Rayon Rungkut)

| Waktu | Tegangan (V) | Hasil pengukuran Arus (A) | | |
|---------------------------|--------------|---------------------------|----|----|
| | | R | S | T |
| 28, AGS 2017 Jam 19:10 | 234 | 10 | 19 | 20 |

- a. Presentase pembebanan transformator.
Arus beban penuh pada transformator dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.
Transformator 1 (BE1192)

$$I_{FL} = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3}V} \tag{4}$$

Dimana:

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

$S_{3\phi}$ = Daya transformato tiga fasa (KVA)

V = Tegangan pada sisi skunder (kV)

$$I_{FL} = \frac{50000}{\sqrt{3}.400} = 72.17 \text{ A}$$

Rata-rata ketiga fasa dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{5}$$

Dimana:

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata trafo (A)

$$I_{rata-rata} = \frac{10+19+20}{3} = 16.33 \text{ A}$$

Presentase pembebanan transformator dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \% \tag{6}$$

$$= \frac{16.33}{72.17} \times 100 \% = 22.6 \%$$

- b. Presentase Ketidakseimbangan Beban
Presentase ketidakseimbangan beban transformator dihitung dengan persamaan dibawah ini dan untuk mencari koefisien a, b, c sbagai berikut.
Transformator 1 (BE1192)

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{10}{16.33} = 0.61 \tag{7}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{19}{16.33} = 1.16 \tag{8}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{20}{16.33} = 1.22 \tag{9}$$

Pesentase ketidakseimbangan beban sebagai berikut.

$$\frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \% \tag{10}$$

$$= \frac{\{|0.61-1|+|1.16-1|+|1.22-1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{\{|0.39|+|0.16|+|0.22|\}}{3} \times 100 \%$$

$$= 25.6 \%$$

Hasil analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 KV menggunakan Software ETAP 12.6.0

Berikut merupakan hasil dari analisis ketidakseimbangan beban menggunakan Software ETAP 12.6.0. Pada Tabel 5 menunjukkan hasil analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

Tabel 5. Hasil analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 KV hasil pengukuran dan analisis ETAP

| Kode trafo | Data pengukuran | | | Hasil ETAP | | |
|------------|-----------------|-----|-----|---------------|-------|-------|
| | Arus Fasa (A) | | | Arus Fasa (A) | | |
| | R | S | T | A | B | C |
| BE 1438 | 85 | 45 | 70 | 83,6 | 44,6 | 69 |
| BE 254 | 190 | 176 | 191 | 186,9 | 173,4 | 187,9 |
| BE 1384 | 215 | 200 | 234 | 211,9 | 197,4 | 230,4 |
| BE 1221 | 25 | 41 | 41 | 24,9 | 40,8 | 40,7 |
| BE 255 | 135 | 135 | 120 | 133,3 | 133,4 | 118,6 |
| BE 256 | 42 | 41 | 46 | 41,4 | 40,4 | 45,2 |
| BE 258 | 45 | 63 | 52 | 44,3 | 61,8 | 51,1 |
| BE 259 | 63 | 64 | 44 | 62,1 | 63,1 | 43,5 |
| BE 1388 | 230 | 170 | 127 | 225,5 | 167,4 | 125,3 |
| BE 261 | 90 | 74 | 93 | 89 | 73,3 | 92 |
| BE 262 | 51 | 50 | 47 | 50,3 | 49,4 | 46,4 |
| BE 263 | 41 | 40 | 40 | 40,5 | 39,6 | 39,5 |
| BE 264 | 291 | 286 | 280 | 284,1 | 279,4 | 273,4 |
| BE 312 | 255 | 218 | 223 | 251 | 215 | 219,7 |
| BE 313 | 125 | 110 | 175 | 123,3 | 108,7 | 172 |
| BE 311 | 89 | 66 | 110 | 88 | 65,4 | 108,6 |
| BE 1192 | 10 | 19 | 20 | 9,9 | 18,8 | 19,8 |
| BE 1819 | 140 | 95 | 132 | 136,7 | 93,4 | 129 |
| BE 1702 | 182 | 190 | 187 | 176,3 | 183,8 | 181,1 |
| BE 1818 | 38 | 9 | 36 | 37,6 | 8,9 | 35,5 |
| BE 266 | 274 | 210 | 213 | 246,4 | 189,8 | 189,6 |
| BE 1132 | 194 | 230 | 253 | 175,4 | 207,6 | 224,6 |
| BE 1135 | 90 | 73 | 83 | 81,9 | 66,6 | 74,5 |
| BE 1051 | 127 | 111 | 121 | 114,4 | 100,2 | 107,5 |
| BE 1124 | 21 | 11 | 13 | 19,2 | 10,1 | 11,7 |
| BE 962 | 240 | 236 | 242 | 216,3 | 212,9 | 215 |
| BE 316 | 34 | 22 | 26 | 30,8 | 20 | 23,3 |
| BE 1732 | 62 | 65 | 69 | 56,3 | 59 | 61,7 |
| BE 322 | 17 | 18 | 18 | 15,5 | 16,5 | 16,2 |
| BE 317 | 265 | 233 | 232 | 238,4 | 210,3 | 206,2 |
| BE 318 | 244 | 244 | 224 | 221,1 | 221,3 | 200,3 |
| BE 325 | 188 | 140 | 200 | 170 | 127,1 | 178,1 |
| BE 324 | 209 | 236 | 229 | 188,7 | 212,9 | 203,6 |
| BE 323 | 221 | 280 | 273 | 200,4 | 253,5 | 243,6 |
| BE 1310 | 132 | 141 | 152 | 118,8 | 126,8 | 134,5 |
| BE 1512 | 81 | 87 | 134 | 73,4 | 78,7 | 118,8 |
| BE 1429 | 25 | 12 | 19 | 22,8 | 11 | 17,1 |
| BE 1571 | 70 | 57 | 70 | 63,5 | 51,8 | 62,6 |
| BE 501 | 36 | 54 | 53 | 32,9 | 49,3 | 47,6 |
| BE 1307 | 101 | 13 | 74 | 100 | 12,9 | 73,4 |
| BE 1680 | 13 | 13 | 20 | 12,9 | 12,9 | 19,9 |

Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi-Rugi Daya.

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Salah satu perhitungan adalah pada transformator BE1192.

Transformator 1 BE1192

$$P_N = I_N^2 \times R_N \tag{11}$$

Dimana:

- P_N = losses pada penghantar netral (watt)
- I_N^2 = Arus yang mengalir pada sisi netral (A)
- R_N = Tahanan penghantar netral (ohm)
- $P_N = (31)^2 \times 1.0694$
 $= 1027.69 \text{ watt} \approx 1.027 \text{ KW}$

Presentase rugi-rugi daya yang disebabkan oleh munculnya arus netral pada penghantar netral trafo terhadap daya aktif trafo dapat dihitung sebagai berikut.

$$\%PN = \frac{P_N}{P} \times 100\% \tag{12}$$

Dimana:

- P = Daya aktif (W)
- $\%PN = \frac{1.027}{11.23} \times 100\%$
 $= 9.14 \%$

Hasil analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 KV menggunakan Software ETAP 12.6.0 setelah dilakukan penyeimbang beban.

Solusi ketidakseimbangan beban adalah dengan cara penyeimbang beban. Pada Tabel 6 menunjukkan analisis ketidakseimbangan beban setelah dilakukan penyeimbang beban.

Tabel 6. Hasil analisis ketidakseimbangan beban setelah dilakukan penyeimbang beban

| Nama BUS / Kode trafo | Hasil ETAP Arus Fasa (A) | | |
|-----------------------|--------------------------|-------|-------|
| | A | B | C |
| BUS 1/BE 1438 | 65 | 66 | 66 |
| BUS 2/BE 254 | 180,7 | 184,6 | 181,6 |
| BUS 3/BE 1384 | 212,4 | 212,4 | 213,4 |
| BUS 4/BE 1221 | 34,7 | 35,7 | 35,7 |
| BUS 5/BE 255 | 128,2 | 128,2 | 128,1 |
| BUS 6/BE 256 | 43,2 | 42,3 | 42,3 |
| BUS 7/BE 258 | 52,9 | 52 | 51,9 |
| BUS 8/BE 259 | 56,1 | 57,1 | 56,1 |
| BUS 9/BE 1388 | 176,7 | 166,9 | 173,7 |
| BUS 10/BE 261 | 83,9 | 82,9 | 86,9 |
| BUS 11/BE 262 | 48,3 | 49,2 | 47,3 |
| BUS 12/BE 263 | 40,4 | 39,5 | 39,5 |
| BUS 13/BE 264 | 278,7 | 278,7 | 277,7 |
| BUS 14/BE 312 | 228 | 227,1 | 229 |
| BUS 15/BE 313 | 133,8 | 134,7 | 134,7 |
| BUS 16/BE 311 | 86,8 | 87,8 | 86,8 |
| BUS 17/BE 1192 | 16,8 | 15,8 | 15,8 |
| BUS 18/BE 1819 | 117,2 | 120,1 | 121,1 |
| BUS 19/BE 1702 | 180,6 | 179,7 | 179,7 |
| BUS 20/BE 1818 | 27,6 | 27,6 | 26,7 |
| BUS 21/BE 266 | 209,6 | 206,1 | 208,6 |
| BUS 22/BE 1132 | 203,4 | 201,6 | 204,2 |
| BUS 23/BE 1135 | 73,2 | 75 | 75 |
| BUS 24/BE 1051 | 107,4 | 107,4 | 106,7 |
| BUS 25/BE 1124 | 14,5 | 12,7 | 13,6 |
| BUS 26/BE 962 | 214,8 | 214,9 | 213 |
| BUS 27/BE 316 | 25,3 | 24,4 | 24,4 |
| BUS 28/BE 1732 | 59,5 | 58,6 | 58,6 |
| BUS 29/BE 322 | 15,4 | 16,3 | 16,3 |
| BUS 30/BE 317 | 219,2 | 217,5 | 216,5 |
| BUS 31/BE 318 | 213,4 | 213,4 | 214,2 |
| BUS 32/BE 325 | 158,2 | 158,2 | 158,1 |
| BUS 33/BE 324 | 200,7 | 201,6 | 201,5 |
| BUS 34/BE 323 | 232 | 232,1 | 232 |

| Nama BUS / Kode trafo | Hasil ETAP Arus Fasa (A) | | |
|--------------------------|--------------------------|-------|-------|
| | A | B | C |
| BUS 35/BE 1310 | 125,8 | 126,7 | 126,7 |
| BUS 36/BE 1512 | 89,7 | 90,6 | 90,6 |
| BUS 37/BE 1429 | 16,3 | 17,2 | 17,2 |
| BUS 38/BE 1571 | 58,6 | 59,5 | 59,5 |
| BUS 39/BE 501 | 42,6 | 43,5 | 43,5 |
| BUS 40/BE 1307 | 61,4 | 62,4 | 62,4 |
| BUS 41/BE 1680 | 14,9 | 14,9 | 15,9 |

PENUTUP

Simpulan

Hasil *software* ETAP 12.6.0 dan hasil pengukuran didapatkan hasil ketidakseimbangan beban yang besar selisih arus antar fasa pada BUS 1 atau transformator BE 1438, fasa R ke S sebesar 38,4 A, S ke T sebesar 24,4 A dan R ke T sebesar 14,6 A, dapat dilihat pada Tabel 5. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus persamaan (10) presentase Ketidakseimbangan beban transformator dengan kode BE 1192 ketidakseimbangan beban mencapai 25.6 %.

Pengaruh ketidakseimbangan beban pada arus netral terhadap rugi-rugi daya didapatkan hasil perhitungan rumus persamaan (11 dan 12) dimana rugi-rugi pada transformator BE 1192 dengan rugi-rugi sebesar 1.027 KW atau dalam persen sebesar 9.14 % dari total beban.

Setelah dilakukan penyeimbang beban hasilnya perbedaan tiap-tiap fasa semakin kecil, pada tabel 6 BUS 1 atau transformator perbedaan arus antar fasa semakin kecil yaitu, R ke S sebesar 1 A, S ke T sebesar 0 A dan R ke T sebesar 1 A.

Saran

Untuk analisis ketidakseimbangan beban sebaiknya menggunakan transformator satu fasa, karena memudahkan dalam menganalisis pada *software* ETAP 12.6.0. dan harus mencari data yang dianggap mengalami ketidakseimbangan beban yang lumayan besar sehingga hasil bisa maksimal.

Dalam proses simulasi diperlukan ketelitian dalam menginput data karena sangat berpengaruh pada hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Priambodo, Pungki. 2014. *Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang Menggunakan Metode K-Matrik Dan Zbr Pada Sistem Distribusi 20 kV Kota Surabaya*. Jurnal Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi.

Susongko. 2016. *Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Jaringan Distribusi Skunder Gardu Distribusi DS 0587 Di PT PLN (Persero) Distribusi Bali Rayon Denpasar*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana Denpasar.

Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Universitas Negeri Padang.

Stevenson, Jr, William D. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.

Syahrizal, Syukriyadin, Ridho Firdaus. 2012. *Analisis Aliran Daya Beban Tidak Seimbang Pada Feeder Blang Bintang Gh Lambaro Banda Aceh*. Jurnal Teknik Listrik Universitas Syiah Kuala.

Tanjung, Abrar. 2014. *Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 Kv Gardu Induk Teluk Lembu Dan Pltmg Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya Dan Drop Tegangan*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning.

Zuhal, 2000. *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.