

# Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder

Aprilian P. Kawihing, Maickel Tuegeh, ST, MT, Lily S. Patras, ST, MT, Ir. Marthinus Pakiding, MT  
Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115, Email: apriliankawihing@gmail.com

**Abstrak** – Perkembangan beban listrik di Kairagi 2 khususnya di Perumahan Restika Permai sudah cukup tinggi. Kondisi demikian, mendorong untuk dilakukan pengaturan beban yang lebih baik. Untuk mencapai pengaturan beban yang lebih baik, perlu dilakukan pemerataan beban di tiap fasa agar beban seimbang.

Ketidakseimbangan beban suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi. Penyambungan beban yang dilakukan di saluran distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai cenderung kurang memperhatikan pola penyebaran beban antara ketiga fasa.

Sebelum melakukan pemerataan beban pada saluran distribusi sekunder di Gardu MH 40 maka penulis melakukan suatu pengamatan dan analisa beban menyangkut data pelanggan Gardu MH 40.

Berdasarkan data hasil pengamatan diketahui bahwa Gardu MH 40 mengalami ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban bisa diatasi dengan melakukan pemerataan beban. Kerugian daya yang paling besar pada siang hari adalah 15738,624 Watt, dan pada malam hari adalah 32078,592 Watt.

**Kata kunci** : Beban Listrik, Gardu Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Transformator.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan beban listrik di Kairagi 2 khususnya di Perumahan Restika Permai sudah cukup tinggi. Kondisi demikian, mendorong untuk dilakukan pengaturan beban yang lebih baik. Untuk mencapai pengaturan beban yang lebih baik, perlu dilakukan pemerataan beban di tiap fasa agar beban seimbang.

Ketidakseimbangan beban suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi. Penyambungan beban yang dilakukan di saluran distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai cenderung kurang memperhatikan pola penyebaran beban antara ketiga fasa. Penyambungan yang dilakukan tidak memperhitungkan besar beban di masing-masing fasa. Keadaan demikian tentu saja akan berakibat penyebaran beban yang tidak seimbang antara ke tiga fasa pada sistem distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai.

Ketidakseimbangan antara tiga fasa mengakibatkan arus mengalir pada kabel netral trafo. Karena pada kabel netral

trafo mengalir arus, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekunder akan makin meningkat. Kerugian yang terjadi akibat beban yang tidak seimbang akan berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka disusunlah tugas akhir dengan judul “Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder”.

Perkembangan beban listrik di Kairagi 2 khususnya di Perumahan Restika Permai sudah cukup tinggi. Kondisi demikian, mendorong untuk dilakukan pengaturan beban yang lebih baik. Untuk mencapai pengaturan beban yang lebih baik, perlu dilakukan pemerataan beban di tiap fasa agar beban seimbang.

Ketidakseimbangan beban suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi. Penyambungan beban yang dilakukan di saluran distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai cenderung kurang memperhatikan pola penyebaran beban antara ketiga fasa. Penyambungan yang dilakukan tidak memperhitungkan besar beban di masing-masing fasa. Keadaan demikian tentu saja akan berakibat penyebaran beban yang tidak seimbang antara ke tiga fasa pada sistem distribusi sekunder di Perumahan Restika Permai.

Ketidakseimbangan antara tiga fasa mengakibatkan arus mengalir pada kabel netral trafo. Karena pada kabel netral trafo mengalir arus, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekunder akan makin meningkat. Kerugian yang terjadi akibat beban yang tidak seimbang akan berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka disusunlah tugas akhir dengan judul “Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder”.

## II. DASAR TEORI

### A. Umum

Awalnya tenaga listrik di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTG, PLTU, PLTGU, PLTP dan PLTD dengan tegangan yang biasanya merupakan tegangan menengah 20 kV. Pada umumnya pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pengguna tenaga listrik, untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pembangkit ini, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi 150/70 kV (TT), atau tegangan ekstra tinggi 500kV (TET). Tegangan yang lebih

tinggi ini diperoleh dengan transformator penaik tegangan (step up transformator).

Pemakaian tegangan tinggi ini diperlukan untuk berbagai alasan efisiensi, antara lain, pengguna penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil, ketika tegangan tinggi diterapkan.

Setiap GI sesungguhnya merupakan Pusat Beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, bebanya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik harus selalu berubah. Perubahan daya yang dilakukan di pusat pembangkit ini bertujuan untuk mempertahankan tenaga listrik tetap pada frekuensi 50 Hz. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban (P3B).

Tegangan menengah dari GI ini melalui saluran distribusi primer, untuk disalurkan ke gardu-gardu distribusi (GD) atau pemakai TM. Dari saluran distribusi primer, tegangan menengah (TM) diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) 220/380 V melalui gardu distribusi (GD). Tegangan rendah dari gardu distribusi disalurkan melalui saluran tegangan rendah ke konsumen tegangan rendah.

Sistem distribusi adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik yang terletak diantara sumber daya besar dan jaringan pelayanan pelanggan. Sistem distribusi dapat dibagi dalam dua sub bagian yaitu:

1. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer adalah jaringan tegangan menengah yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplay tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Sistem tegangan menengah yang digunakan di Distribusi Wilayah Manado adalah 20 kV. Jaringan ini mempunyai struktur/pola sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan handal.

a) Sistem/ pola Radial

Pola ini merupakan pola yang paling sederhana dan umumnya banyak digunakan di daerah pedesaan/sistem yang kecil. Umumnya menggunakan SUTM(Saluran Udara Tegangan Menengah), Sistem Radial tidak terlalu rumit, tetapi memiliki tingkat keandalan yang rendah. Dapat dilihat pada gambar 1.

b) Sistem/pola Open Loop

Merupakan pengembangan dari sistem radial, sebagai akibat dari diperlukannya kehandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasok dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi, karena hal ini diperlukan untuk manuver beban pada saat terjadi gangguan. Contoh gambar dapat dilihat pada gambar 2.

c) Sistem/pola Close Loop

Sistem close loop ini layak digunakan untuk jaringan yang dipasok dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang lebih rumit biasanya menggunakan rele arah (Bidirectional). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibanding sistem yang lain.

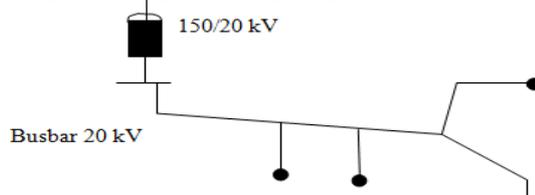
d) Sistem/pola Spindel

Sistem ini banyak digunakan untuk pasokan listrik di perkotaan (khususnya kota besar). Memiliki Kehandalan yang realitif tinggi karena disediakan satu expres feeder/penyulang

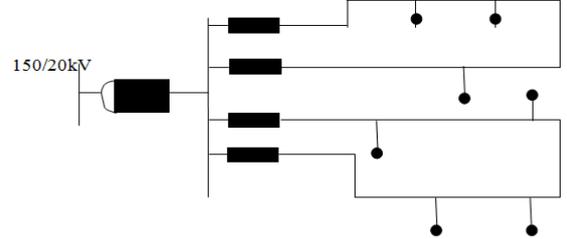
tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung. Biasanya pada tiap penyulang terdapat gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut. Contoh gambar dapat dilihat pada gambar 5.

e) Sistem/pola Cluster

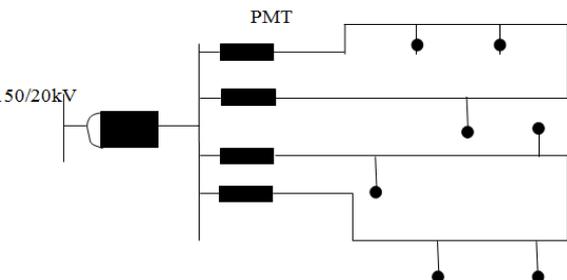
Sistem cluster sangat mirip dengan sistem spindel, juga disediakan satu feeder khusus tanpa beban(feeder expres). Contoh gambar dapat dilihat pada gambar 6.



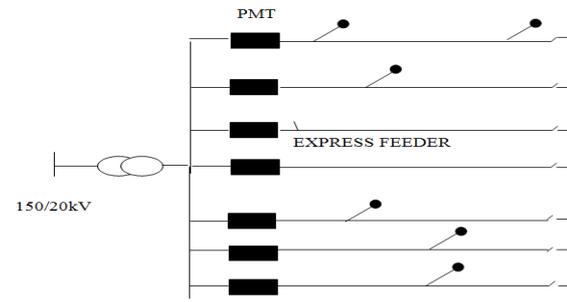
Gbr 1. Sistem/Pola Radial



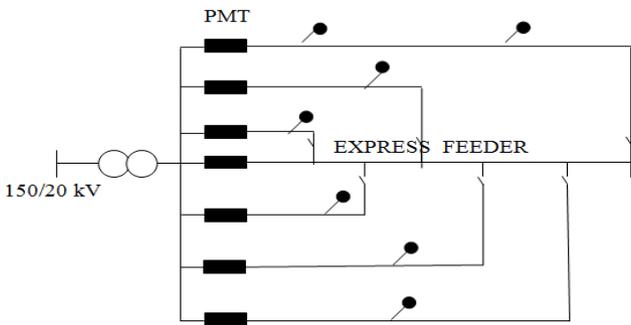
Gbr 2. Sistem/Pola Open Loop



Gbr 3. Sistem/Pola Close Loop



Gbr 4. Sistem/Pola Spindel



Gbr. 5 Sistem/Pola Cluster

## 2. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan Distribusi sekunder adalah jaringan distribusi dengan tegangan rendah yang bermula dari transformator distribusi sampai ke kWh meter konsumen. Berdasarkan penempatan jaringan, jaringan tegangan rendah dibedakan menjadi dua:

- Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)
- Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

### B. PHB TR (Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah)

Panel Hubung Bagi (PHB) tegangan rendah gardu atau Rak TR. PHB terpasang pada gardu distribusi pada sisi tegangan rendah atau sisi hulu dari instalasi tenaga listrik. Fungsinya adalah sebagai alat penghubung sekaligus sebagai pembagi tenaga listrik ke instalasi pengguna tenaga listrik (konsumen). Kapasitas PHB yang digunakan harus disesuaikan dengan besarnya trafo distribusi yang digunakan.

PHB TR terdiri dari beberapa jurusan yang akan dibagi-bagi ke pelanggan. PHB TR terhubung dengan trafo pada sisi sekunder menggunakan kabel singel core TR dengan diameter 240mm<sup>2</sup>.

### C. Beberapa Komponen Jaringan Tegangan Rendah

Komponen jaringan tegangan rendah adalah peralatan yang digunakan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR), sehingga JTR dapat menjalankan fungsinya sebagai penyalur energi ke pelanggan. Komponen pada JTR antara lain:

#### 1. Kabel Schoen

Kabel Schoen digunakan untuk menghubungkan rel pada hubung bagi dengan penghantar kabel tegangan rendah (kabel obstyg). Kabel Schoen dipres pada kabel obstyg dan dibaut rel panel hubung bagi.

#### 2. Konektor

Adalah peralatan yang digunakan untuk menghubungkan (meng-connect) penghantar dengan penghantar. Misal antara kabel iobstyg dan TIC-AI, TIC-AI dengan SR (Sambungan Rumah).

### D. Gardu Distribusi

Berdasarkan maksud dan tujuan penggunaan gardu distribusi dibagi dalam beberapa jenis, yaitu:

1. Gardu distribusi konstruksi beton (Gardu beton)
2. Gardu distribusi konstruksi metal clad (Gardu besi)
3. Gardu distribusi tiang
  - a) Gardu tiang tipe potral
  - b) Gardu tiang tipe cantol
4. Gardu distribusi mobil
  - a) Gardu distribusi mobil tipe kios
  - b) Gardu distribusi mobil tipe trailer

### F. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan listrik utama yang berperan penting untuk penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer yang merupakan tegangan menengah menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder.

Trafo Distribusi yang umum digunakan adalah trafo step down 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi drop tegangan maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt.

Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik bolak-balik, sehingga pada inti transformer yang terbuat dari bahan feromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (flux =  $\phi$ ).

Karena arus yang mengalir merupakan arus bola-balik maka flux terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinus maka flux yang terjadi akan berbentuk sinus pula. Karena flux tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada inti primer dan sekunder tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik) induksi, tetapi arah dari ggl induksi primer berlawanan dengan arah ggl induksi sekunder sedangkan frekuensi masing-masing tegangan tersebut sama dengan frekuensi sumbernya. Hubungan tranformasi tegangan adalah sebagai berikut:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (1)$$

$$\text{atau} \quad E_1 = aE_2 \quad (2)$$

$$E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad (3)$$

$$\text{atau} \quad I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad (4)$$

### G. Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (5)$$

Dengan,

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 :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (6)$$

Dengan,

$I_{FL}$  = Arus beban penuh

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

### H. Penyaluran dan Susut Daya

Misalkan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besar daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (7)$$

dengan,

$P$  = Daya pada ujung kirim

$V$  = Tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$  = Faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari  $P$  karena terjadi penyusutan dalam saluran.

**I. Bilangan Jam Transformator**

Bilangan jam harus diketahui apabila kita akan menyambung paralel dua transformator. Secara umum bilangan umum jam yaitu huruf-huruf yang menunjukkan cara sambungan. Notasi untuk hubungan delta, bintang, zigzag, masing-masing adalah D, Y dan Z untuk sisi tegangan tinggi dan d, y, dan z untuk sisi tegangan rendah. Untuk urutan fasa digunakan notasi U, V, W untuk tegangan tinggi dan u, v, w untuk tegangan rendah. Misalkan sebuah transformator dalam hubung 'D' pada sisi tegangan tinggi 'y' pada sisi tegangan rendah. Kemudian lukis sebuah lingkaran yang menyerupai jam dengan angka-angka 1 sampai 12. Pada lingkaran digambar sisi tegangan tinggi berupa sebuah segitiga (hubungan D) sedemikian rupa sehingga fasa V berada pada angka 12. Lalu lukis sisi tegangan rendah berupa bintang (hubungan y) dengan menempatkan secara tepat letak fasa u.

v, dan w. Angka jam menyatakan pergeseran antara fasa tegangan tinggi V dan fasa tegangan rendah v, pada gambar 2.10 dapat dilihat pergeseran fasa sebesar  $150^\circ$  yang menyerupai seperti jam 5. Dengan demikian transformator mempunyai kelompok hubungan Dy5. Contoh gambar dapat dilihat pada gambar 6.

**J. Rugi-Rugi Pada Distribusi**

Rugi-rugi yang timbul pada transformator dapat mempengaruhi daya yang digunakan dan juga rugi-rugi yang timbul berupa panas akibat pemakaian transformator yang tidak optimum, sehingga banyak daya yang terbuang percuma.

Rugi-rugi yang akan diperhitungkan adalah rugi-rugi transformator dalam keadaan kosong (*no load*), yang akan dibandingkan bagaimana transformator diberi beban optimum dengan transformator dibebani tapi kurang dari nominal.

Pada transformator tanpa beban, rugi-rugi yang dapat terjadi adalah:

1. Rugi-rugi tembaga  $P_{Cu}$
2. Rugi-rugi besi  $P_i$
3. Rugi-rugi tambahan  $P_{add}$

**K. Beban Listrik**

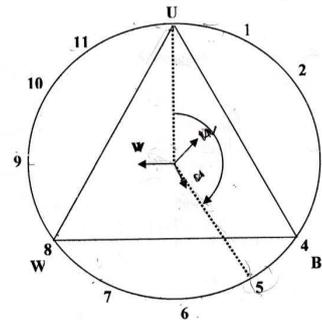
Yang dimaksud dengan beban listrik adalah sejumlah tenaga listrik yang dibutuhkan pada suatu sistem yang dapat dinyatakan dalam satuan-satuan kW, kVA. Beban listrik adalah istilah teknis dari daya yang dikonsumsi oleh pelanggan. Penentu beban listrik di suatu sistem distribusi sehingga dicapai suatu sistem distribusi yang baik dari segi ekonomi maupun teknik.

**L. Klasifikasi Beban**

Beban listrik dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis berdasarkan faktor-faktor seperti jenis konsumen, lingkungan atau geografis, serta tingkat pelayanan listrik. Untuk lebih jelas, klasifikasi beban dapat dilihat pada tabel I.

Berdasarkan jenis konsumen, beban diklasifikasikan atas 3 jenis yaitu:

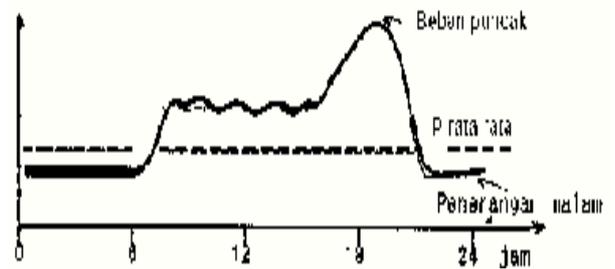
1. Beban domestic  
Kurva dari beabean domestic dapat dilihat pada gambar 7.
2. Beban Komersial  
Kurva dari beabean domestic dapat dilihat pada gambar 8.



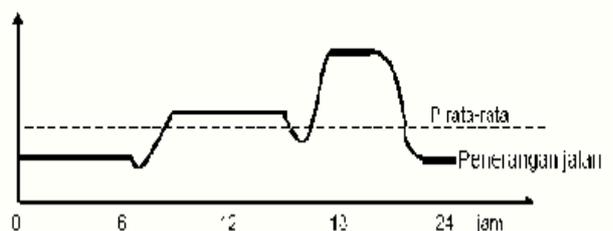
Gbr 6. Bilangan Jam Dengan Golongan Hubung DY5

Tabel I  
Klasifikasi Beban

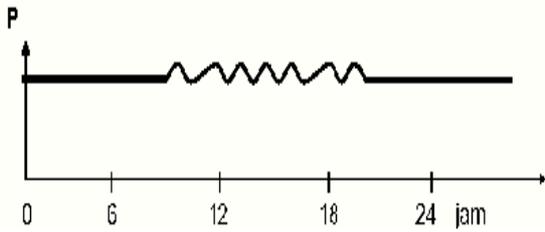
No	Sifat Pengolahan	Pengolahan Bahan
1	Jenis Konsumen	1. Domestik 2. Komersial 3. Industri
2	Lingkungan / geografis	1. Pusat Kota 2. Perkotaan 3. Pinggiran Kota
3	Tingkat Pelayanan	1. Sangat penting 2. Penting 3. Biasa 4. Cadangan



Gbr 7. Kurva Beban Listrik Domestic



Gbr 8. Kurva Beban Listrik Komersial



Gbr 9. Kurva Beban Listrik Industri

3. Beban Industri

Kurva dari beban domestic dapat dilihat pada gambar 9.

Berdasarkan letak geografis dan lingkungan, beban listrik diklasifikasikan atas beberapa bagian, yaitu:

1. Tingkat pelayanan sangat penting yaitu konsumen yang memerlukan pelayanan listrik tingkat tinggi seperti instansi pemerintahan, rumah sakit, dan lain-lain.
2. Tingkat pelayanan penting seperti kantor, mall, daerah perdagangan, sekolah dan lain-lain.
3. Tingkat pelayanan biasa seperti pelayanan listrik untuk pemukiman penduduk.

M. Karakteristik Beban

Dalam mempelajari karakteristik beban listrik dikenal beberapa istilah, yaitu:

1. Beban Terpasang.
2. Kebutuhan Maksimum (*maximum demand*)
3. Faktro Kebutuhan (*demand factor*)

Faktor kebutuhan dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{Faktor Keragaman} = \frac{\text{puncak kVA}}{\text{Total kVA yang terhubung}} \quad (8)$$

4. Faktor Keragaman (*diversity factor*)

Faktor keragaman dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{Faktor Keragaman} = \frac{\text{Individu Kebutuhan Puncak}}{\text{Sistem Kebutuhan Puncak}} \quad (9)$$

5. Faktor Beban (*load factor*)

Faktor beban dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{Faktor} = \frac{\text{Kebutuhan Rata-rata}}{\text{Kebutuhan Puncak}} \quad (10)$$

N. Sistem Tiga Fasa

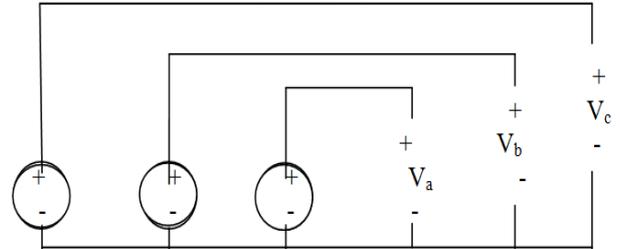
Sistem tiga fase dapat digambarkan dengan suatu sistem yang terdiri dari tiga sistem fase tunggal, dapat dilihat pada gambar 10.

Q. Beban Tak Seimbang Terhubung Delta

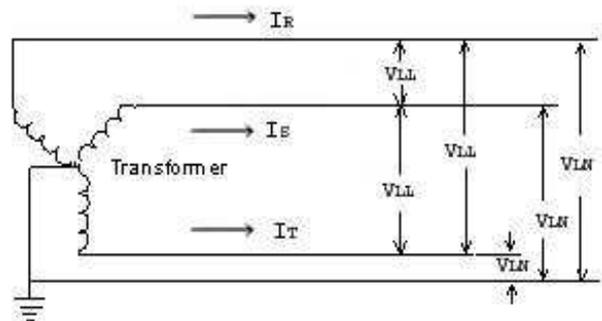
Penyelesaian beban tak seimbang tidaklah dapat disamakan dengan beban yang seimbang. Penyelesaian akan menyangkut perhitungan arus-arus fase dan selanjutnya dengan hukum arus Kirchhoff akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing fase. Dapat dilihat pada gambar 13.

R. Beban Tak Seimbang Terhubung Y

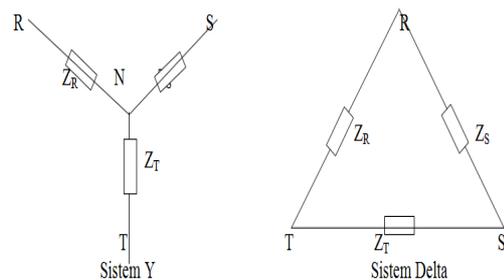
Pada sistem ini masing-masing fase akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju Netral (pada sistem empat kawat). Sehingga arus netral merupakan penjumlahan secara vector



Gbr 10. Sistem Tiga Fasa



Gbr 11. Sumber Daya Sekunder yang Terhubung Y dengan Kawat Netral



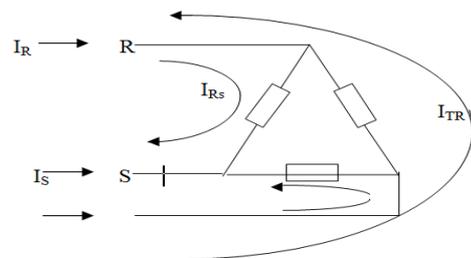
Gbr 12. Sistem Y dan D

O. Beban Tidak Seimbang pada Jaringan Distribusi Sekunder

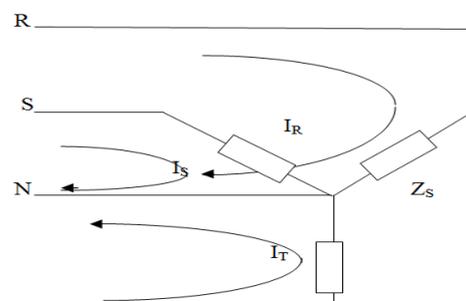
Contoh gambar beban tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 11.

P. Sistem Y Dan Delta

Sistem Y merupakan sistem sambungan pada sistem tiga fase yang menggunakan empat kawat, yaitu R, S, T dan N. Sistem sambungan tersebut akan menyerupai huruf Y, yang memiliki empat titik sambungan yaitu pada ujung-ujung huruf dan pada titik pertemuan antara tiga pembentuk huruf. Sistem Y dan D dapat dilihat pada gambar 12.



Gbr 13. Beban Tidak Seimbang Terhubung Delta



Gbr 14. Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

arus yang mengalir dari masing-masing fase. Dapat dilihat pada gambar 14.

### S. Rugi-rugi Daya pada Jaringan Distribusi

Total rugi daya pada jaringan distribusi karena pada kabel netral mengalir arus adalah penjumlahan rugi pada kabel fasa dan rugi pada kabel netral dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_T = P_F + P_N \quad (11)$$

Dengan,

$P_F$  = Rugi daya di kabel fasa

$P_N$  = Rugi daya di kabel netral

Rugi daya pada kabel fasa dan kabel netral secara berturut-turut dirumuskan sebagai berikut:

$$P_F = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R \quad (12)$$

$$P_N = I_N^2 R \quad (13)$$

dengan,

$I_R$  = Arus pada fasa R

$I_S$  = Arus pada fasa S

$I_T$  = Arus pada fasa T

$I_N$  = Arus pada netral

### T. Losses Pada Jaringan Distribusi

Yang dimaksud losses adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan ( $N_S$ ) dengan energi listrik yang terpakai ( $N_I$ ).

$$\text{Losses} = \frac{N_S - N_I}{N_S} \times 100\% \quad (14)$$

### V. Losses Pada Penghantar Phase

Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan:

$$\Delta V = I(R \cos\phi + X \sin\phi)L \quad (15)$$

$$\Delta P = 3I^2 \cdot R \cdot L \quad (16)$$

Sedangkan jika beban tersebar merata di sepanjang jaringan maka rugi energi yang timbul adalah:

$$\Delta V = \left(\frac{L}{3}\right)^2 \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)L \quad (17)$$

$$\Delta P = 3 \left(\frac{L}{3}\right)^2 \cdot R \cdot L \quad (18)$$

dengan,

$I$  = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$R$  = Tahanan pada penghantar (Ohm/km)

$X$  = Reaktansi pada penghantar (Ohm/km)

$\cos\phi$  = Faktor daya beban

$L$  = Panjang penghantar (km)

### U. Losses Akibat Beban Tidak Seimbang

Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar.

$$\Delta P = I_N^2 \cdot R \quad (19)$$

## III. METODE PENELITIAN

### A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Gardu MH 40 berlokasi Perumahan Restika Permai Kairagi 2. Penelitian dan pengambilan data di gardu MH 40 dilakukan pada bulan November 2012.

### B. Prosedur Penelitian

Tahap 1: Persiapan

Sebelum melakukan penelitian penulis dahulu mencari literatur-literatur yang berkaitan dengan materi yang akan dibahas, sehingga dapat diketahui data apa saja yang diperlukan, dan setelah itu penulis membuat surat izin untuk pengambilan data.

Tahap 2: Pengambilan Data

Data yang diambil adalah data beban gardu MH 40 untuk jurusan 2.

Tahap 3: Pengolahan Data

Dari data yang didapat maka dilakukan pengolahan data. Data yang didapat dianalisa, antaralain menghitung tahanan penghantar, menganalisa pembebanan trafo, menganalisa ketidakseimbangan beban, menganalisa *Losses* dan menganalisa pemerataan beban.

Tahap 4 : Penulisan penelitian

Dari pengolahan data penulis membuat penulisan penelitian.

### C. Data Transformator Gardu

Data Transformator gardu adalah:

Nama Gardu/ Lokasi	: MH 40 Restika Permai Kairagi 2
Merk	: Trafindo
No Seri	: 9131299
Tahun	: 1991
Daya	: 100 kVA
Jumlah fasa	: 3
Tegangan primer	: 20 kV
Tegangan sekunder	: 0,4 kV
Hubungan belitan	: Yzn-5

### D. Data Beban Gardu MH 40

Data beban gardu MH 40 pada pengukuran malam siang hari dapat dilihat pada table II dan tabel III.

- Untuk kabel fasa

Tahan kabel fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$R_{20} = 0.628 \Omega \text{ pada tabel PUIL 2000}$$

$$R_t = R_{20} \times \frac{228 + T}{248} \times \frac{L}{1000}$$

$$= 0.628 \times \frac{228 + 30}{248} \times \frac{958}{1000}$$

$$= 0.628 \times 1.28 \times 0.956$$

$$= 0.768 \Omega$$

- Untuk kabel netral

$$R_t = R_{20} \times \frac{228+F}{248} \times \frac{L}{1000}$$

$$= 0.851 \times \frac{228+90}{248} \times \frac{998}{1000}$$

$$= 0.851 \times 1.28 \times 0.956$$

$$= 1.041 \Omega$$

Tabel II  
Data Pengukuran Beban pada Siang hari

Pengukuran	Arus (Ampere)			
	I <sub>R</sub>	I <sub>S</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>N</sub>
Jurusan 2	56	74	109	35

Tabel III  
Data pengukuran beban pada malam hari pukul

Pengukuran	Arus (Ampere)			
	I <sub>R</sub>	I <sub>S</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>N</sub>
Jurusan 2	95	62	170	39

F. Analisa Pembebanan Trafo

Analisa Pembebanan trafo dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu menggunakan persamaan (2.2)

Untuk trafo pada gardu MH40:

S = 100 kVA

V = 0,4 kV

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{100000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 433.01 \text{ A}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa arus beban penuh trafo adalah 433.01 A

Pengukuran beban untuk jurusan 2 pada siang hari

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

$$= \frac{56 + 74 + 109}{3}$$

$$= 79,6 \text{ A}$$

Pengukuran beban untuk jurusan 2 pada malam hari

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

$$= \frac{95 + 62 + 170}{3}$$

$$= 109 \text{ A}$$

Presentase beban trafo pada siang hari adalah:

$$\bullet \frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{79,6}{433,01}$$

$$= 18,38 \%$$

Presentase beban trafo pada malam hari adalah:

$$\bullet \frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{109}{433,01}$$

$$= 25,17 \%$$

H. Analisa Losses

Perhitungan rugi daya yang terjadi pada gardu MH 40 menggunakan persamaan (2.11) untuk menghitung rugi daya

yang terjadi di kabel fasa, persamaan (2.12) untuk menghitung rugi daya dikabel netral, dan total rugi daya yang terjadi pada saluran yang merupakan penjumlahan rugi daya di fasa dan di netral menggunakan persamaan (2.10).

I. Rugi Daya di Fasa

Dari hasil perhitungan tahanan saluran di halaman 37 diperoleh:

R = 0,768 Ω

- Pada pengukuran siang hari  
I<sub>R</sub> = 56 A ; I<sub>S</sub> = 74 A ; I<sub>T</sub> = 109 A  
P<sub>F</sub> = (56<sup>2</sup> + 74<sup>2</sup> + 109<sup>2</sup>) 0,768  
= (20493) 0,768  
= 15738,624 Watt

- Pada pengukuran malam hari  
I<sub>R</sub> = 95 A ; I<sub>S</sub> = 62 A ; I<sub>T</sub> = 170 A  
P<sub>F</sub> = (95<sup>2</sup> + 62<sup>2</sup> + 170<sup>2</sup>) 0,768  
= (41769) 0,768  
= 32078,592 Watt

J. Rugi Daya di Netral

Dari hasil perhitungan tahanan saluran di halaman 37 diperoleh:

R = 1.041 Ω

- Pada pengukuran siang hari  
I<sub>N</sub> = 35 A  
P<sub>N</sub> = 35<sup>2</sup> x 1.041  
= 1275,2 Watt
- Pada pengukuran malam hari  
I<sub>N</sub> = 39 A  
P<sub>N</sub> = 39<sup>2</sup> x 1.041  
= 1583,3 Watt

K. Total Rugi Daya

Dengan menggunakan persamaan (2.10) total rugi daya yang terjadi pada saluran akan didapat:

- Pada pengukuran siang  
P<sub>T</sub> = P<sub>F</sub> + P<sub>N</sub>  
= 15738,624 + 1275,2  
= 17013,842 Watt
- Pada pengukuran malam  
P<sub>T</sub> = P<sub>F</sub> + P<sub>N</sub>  
= 32078,592 + 1583,3  
= 33661,892 Watt

Dari data diatas dapat dilihat bahwa total rugi daya pada jurusan 2 cukup besar, yaitu pada siang hari 17013,842Watt dan pada malam hari 33661,892Watt.

Losses yang semakin meningkat dapat menyebabkan kerugian pada pihak konsumen maupun pihak PLN. Kerugian dipihak konsumen berupa kualitas daya menurun, sedangkan kerugian dipihak PLN berupa rugi daya yang cukup besar.

Tabel IV  
Analisa Pemerataan Beban Pada Siang Hari  
Sebelum pemerataan

Pengukuran	R	S	T
Jurusan 2	95	62	170



*L. Analisa Pemerataan Beban*

- Analisa beban dari data pelanggan gardu MH 40 jurusan 2

Data pelanggan beban di gardu MH 40, Arus yang terpasang pada setiap fasa adalah:

- Fasa R = 100 A
- Fasa S = 86 A
- Fasa T = 180 A

Total Arus yang terpasang adalah 366 A.

Dari data pelanggan ditabel 3.3 sudah jelas terlihat terjadi ketidakseimbangan beban karena di fasa T bebannya lebih dari beban di fasa R dan S.

- Analisa Pemerataan Beban Pada Siang Hari

Data pengukuran di gardu MH 40 pada siang hari pukul 13:48 arus yang terpasang pada setiap fasa adalah:

- Fasa R = 56 A
- Fasa S = 74 A
- Fasa T = 109 A

Total arus terpasang adalah 239 A.

Dari data pengukuran ditabel I sudah jelas terlihat terjadi ketidakseimbangan beban karena di fasa T bebannya lebih dari beban di fasa R dan S.

Untuk mengurangi ketidakseimbangan beban perlu dilakukan pemerataan beban dengan cara memindahkan arus dari fasa T sebesar 30 A yaitu satu ke fasa R sebesar 24 A dan satunya lagi ke fasa S sebesar 6 A, sehingga arus yang terpasang pada tiap fasa menjadi:

- Fasa R = 80 Ampere
- Fasa T = 80 Ampere
- Fasa S = 79 Ampere

Dengan demikian pembagian beban di gardu MH 40 sudah bisa dikatakan merata. Contoh pemerataan beban pada siang hari dapat dilihat pada tabel IV.

- Analisa Pemerataan Beban Malam Hari

Data pengukuran di gardu MH 40 pada malam hari pukul 19:08 arus yang terpasang pada setiap fasa adalah:

- Fasa R = 95 Ampere
- Fasa S = 62 Ampere
- Fasa T = 170 Ampere

Total arus terpasang adalah 327 Ampere.

Dari data pengukuran ditabel II dan tabel III sudah jelas terlihat terjadi ketidakseimbangan beban karena di fasa T bebanya lebih dari beban di fasa R dan S.

Untuk mengurangi ketidakseimbangan beban perlu dilakukan pemerataan beban dengan cara memindahkan arus dari fasa T sebesar 56 A yaitu satu ke fasa R sebesar 12 A dan satunya lagi ke fasa S sebesar 44 A, sehingga arus yang terpasang pada tiap fasa menjadi:

- Fasa R = 107 Ampere
- Fasa T = 106 Ampere
- Fasa S = 108 Ampere

Dengan demikian pembagian beban di garud MH 40 sudah bisa dikatakan merata. Contoh pemerataan beban pada malam hari dapat dilihat pada tabel V.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jaringan distribusi sekunder gardu MH 40 pada jurusan 2 terjadi ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan terjadi karena:
  - Pembagian beban yang tidak merata di antara konsumen, dapat dilihat dari analisa ketidakseimbangan data pelanggan gardu MH 40 pada Tabel 3.4, Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 yaitu total arus yang terpasang adalah:
    - Fasa R = 100 A
    - Fasa S = 86 A
    - Fasa T = 180 A
  - Konsumen atau pelanggan menggunakan beban rumah tangga yang sebagian besar merupakan beban nonlinier. Beban nonlinier yang digunakan akan berpengaruh terhadap kecacatan bentuk gelombang baik arus maupun tegangan.
2. Ketidakseimbangan yang terjadi membawa pengaruh negatif pada jaringan distribusi sekunder gardu MH 40. Ketidakseimbangan menyebabkan ada arus yang mengalir pada kabel netral. Jika arus yang mengalir pada kabel netral semakin besar, menyebabkan losses semakin meningkat. Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa total rugi daya pada siang hari mencapai 17013,842 Watt dan dari Tabel 4.8 dapat dilihat pula total rugi daya pada malam

Tabel V  
Analisa Pemerataan Beban Pada Malam Hari  
**Sebelum pemerataan**

Pengukuran	R	S	T
Jurusan 2	56	74	109



hari mencapai 33661,892Watt. Losses yang semakin meningkat menyebabkan kerugian pada pihak konsumen maupun pihak PLN.

#### B. Saran

1. Perlu dilakukan pengaturan beban yang lebih baik di jaringan distribusi sekunder gardu MH 40.
2. Dalam melakukan penyambungan daya baru perlu diperhatikan besar beban pada saluran yang ada.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A . Arismunandar, DR, M.A.Sc, Kuwahara. S, DR, *Teknik Tenaga Listrik*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.
- [2] Deshpande, M V. "*Electrical Power System Design*". Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi. 1982
- [3] D. S. William, Jr., *Analisis Sistem Tenaga*, Edisi ke empat, Alih Bahasa oleh Ir. Kamal idris, Penerbit erlangga, Jakarta, 1993.
- [4] G. Turan, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, United States of America, 1986.
- [5] H. Saadat, "*Power System Analysis*". WCB McGraw-Hill. Singapore. 1999
- [6] Ir. W. Sarimun N., MT. "*Buku Saku Pelayanan Teknik*" Edisi I. Bulan Maret 2012
- [7] J. S. Setiadji, "*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*". Surabaya.
- [8] Kushadiyono. MT , Drs, *Dasar Teknik Elektro*, STT Wiworotomo, Purwokerto, 2003
- [9] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, Standar Nasional Indonesia (SNI)
- [10] R. C. Dugan, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [11] Sulasno, Ir., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001
- [12] Stevenson Jr. W.D. *Analisa Sistem Tenaga Listrik* Erlangga, Jakarta, 1990