

# PENYEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH GARDU DISTRIBUSI CD 33 PENYULANG SAWAH DI PT PLN (PERSERO) AREA BINTARO

Syarif Hidayat<sup>1)</sup>, Supriadi Legino<sup>2)</sup>, Nurun Fatimah Mulyanti<sup>3)</sup>  
Teknik Elektro, STT-PLN

<sup>1</sup>syarifhidayat@sttpln.ac.id; <sup>2</sup>supriadilegino@sttpln.ac.id; <sup>3</sup>nurunfatimah3@gmail.com

**Abstract :** *The Power Distribution System is basically a process for delivering electricity from a 150 kV power transmission system to a consumer, either 20 kV consumer or a 380/220 V consumer. The more complex distribution system of the network is the Low Voltage distribution system (380 / 220V), because the network of low voltage distribution system has a very wide network coverage. This often causes the Low Voltage Distribution system to be unbalanced, since household customers generally utilize single phase power. The effects of an unbalanced low voltage distribution system will affect many things, such as : the transformer's performance, excess heat in the overload phase, the current flowing in the neutral wire, the end-tension drop in the overload load network. And ultimately the quality of electricity at the consumer level decreases. With this load imbalance, the workable solution is to balance the load on the transformer. The measurements of Jurusan B after load balancing are the R-phase 106 Ampere, the S-phase 108 Ampere, and the T-phase 107 Ampere. The load unbalance value drops to 1% after a load balancing effort, this value is far below the maximum imbalance criterion of 10%.*

**Keywords :** *Low Voltage Grid, Substation Distribution, The Load Balancing.*

**Abstrak :** *Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada dasarnya adalah suatu proses untuk menyalurkan tenaga listrik dari sistem transmisi tenaga listrik 150 kV ke konsumen, baik konsumen 20 kV ataupun konsumen 380/220 V. Sistem distribusi yang lebih kompleks jaringannya adalah sistem distribusi Tegangan Rendah (380/220V), karena jaringan sistem distribusi tegangan rendah mempunyai cakupan jaringan yang sangat luas. Hal ini seringkali menyebabkan sistem Distribusi Tegangan Rendah menjadi tidak seimbang, karena pada umumnya pelanggan rumah tangga memanfaatkan tenaga listrik satu fasa. Akibat dari sistem distribusi tegangan rendah yang tidak seimbang tentunya akan berpengaruh terhadap banyak hal, seperti: kinerja trafo, panas berlebih pada phase beban lebih, arus mengalir pada kawat netral, drop tegangan ujung pada jaringan phase beban lebih. Dan pada akhirnya kualitas tenaga listrik di tingkat konsumen menurun. Dengan ketidakseimbangan beban ini maka solusi yang bisa dilaksanakan adalah melakukan penyeimbangan beban pada trafo. Hasil pengukuran Jurusan B setelah penyeimbangan beban adalah fasa-R 106 Ampere, fasa-S 108 Ampere, dan fasa-T 107 Ampere. Nilai ketidakseimbangan beban turun menjadi 1 % setelah dilakukan upaya penyeimbangan beban, nilai ini telah jauh dibawah kriteria ketidakseimbangan maksimum yaitu 10 %.*

**Kata Kunci :** *Jaringan Tegangan Rendah, Gardu Distribusi, Penyeimbangan Beban.*

## 1. Pendahuluan

Penyeimbangan beban merupakan suatu upaya untuk mengefesienkan gardu distribusi sehingga arus yang mengalir bisa sepenuhnya di serap oleh pelanggan. Dalam memenuhi kebutuhan

tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban yang tidak merata antar setiap fasa-nya. Hal ini terutama disebabkan karena pola penyambungan SR (Sambungan Rumah) pelanggan 1 fasa, pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada

gardu distribusi tersebut. Hal ini apabila tidak ditangani akan menyebabkan pembebanan yang tidak seimbang pada transformator sehingga berdampak pada gangguan penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) ini akan mempengaruhi banyak hal, seperti: kinerja trafo, arus mengalir pada kawat netral, drop tegangan.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah bangunan gardu transformator yang memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pemanfaat baik dengan Tegangan Menengah maupun Tegangan Rendah. Fungsi gardu distribusi menurunkan tegangan pelayanan yang lebih tinggi menjadi tegangan pelayanan yang lebih rendah. Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi menggunakan sistem tiga fasa untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) dengan transformator tiga fasa dengan kapasitas yang cukup besar. Jaringan tegangan rendah ditarik dari sisi sekunder transformator untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Sistem tiga fasa tersedia untuk seluruh daerah pelayanan distribusi, walaupun sebagian besar konsumen mendapat pelayanan distribusi tenaga listrik satu fasa. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udara sistem tiga fasa tiga kawat. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan pemda setempat. Pembangunan gardu distribusi terdiri dari :

1. Gardu pasangan luar dimana semua instalasi listriknya tahan air (gardu portal atau gardu cantol)
2. Gardu pasangan dalam dimana instalasinya tidak kedap air (gardu beton atau gardu kios)

Berdasarkan jenis penggunaannya gardu distribusi dibedakan menjadi :

1. Gardu pelanggan umum (daya <197kVA) dengan kapasitas trafo distribusi / tenaga yang terpasang di gardu distribusi 50 kVA s/d 1000 Kva.
2. Gardu pelanggan khusus (daya > 200 kVA) dengan langganan TM/TM/TM atau TM/TM/TR atau TM/TR/T.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Ketidakseimbangan Beban

Ketidakeimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Pola penyambungan SR (Sambungan Rumah) pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada gardu distribusi tersebut sehingga menyebabkan beban antara fasa tidak merata. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut menimbulkan adanya aliran arus di netral trafo. Semakin tidak seimbang beban antara ketiga fasa maka aliran arus di netral trafo akan semakin besar sehingga susut energi yang terjadi akan semakin besar.

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dirumuskan seperti perumusan daya semu (S), sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

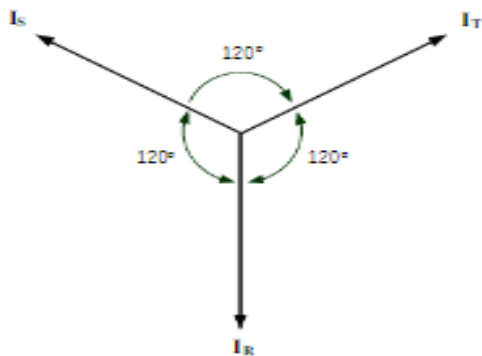
$$IFL = \frac{S}{\sqrt{3}.V} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

- IFL = arus beban penuh (A)
- S = daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah :

1. Ketiga vektor arus/tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120°satu sama lain, seperti terlihat pada gambar dibawah ini :

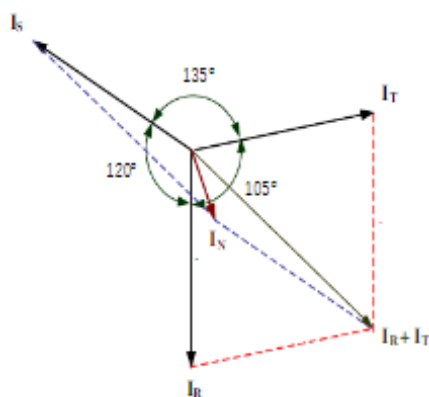


**Gambar 3.1** Diagram Vektor Arus Keadaan Seimbang

Kemungkinan keadaan tidak seimbangan yaitu :

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

Seperti yang terlihat pada gambar berikut ini :



**Gambar 3.2** Diagram Vektor Arus Keadaan Tidak Seimbang

Dari gambar diatas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vector arusnya ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidak seimbangannya.

### 3.2. Arus Netral

Pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat, beban dikatakan seimbang jika pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya. Namun pada kenyataannya selalu ada ketidakseimbangan sehingga arusnya pun tidak seimbang. Pemakaian atau pengoperasian beban tidak selalu pada waktu yang bersamaan pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat maka seringkali terjadi ketidakseimbangan pada fasa-fasanya. Akibatnya timbul arus balik yang mengalir pada konduktor netral ke sumber yang kita kenal dengan arus netral berikut persamaannya :

$$\text{Vektor : } I_R + I_S + I_T = I_N \dots \dots \dots (3.2)$$

$$I_R = I_S = I_T ; I_N = 0$$

1. Persentase Pembebanan Penghantar  
Persentase pembebanan penghantar dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\% \text{beban} = \frac{A}{A} \frac{r}{n} \frac{-r}{n} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Arus rata-rata : Arus rata-rata ketiga fasa (A)

Arus nominal : kuat hantar arus penghantar (A)

2. Menentukan Persentase Ketidakseimbangan Beban

Pada sisi sekunder transformator terdiri dari tiga fasa yaitu R, S, T dan satu N (netral). Apabila terdapat selisih yang cukup besar antar beban fasa R, S, T maka akan mengakibatkan munculnya arus pada penghantar netral (arus netral), semakin besar ketidakseimbangan beban maka akan mengakibatkan semakin besar pula arus netral tersebut. Adapun batas ketidakseimbangan (dalam %) yang ditetapkan di PLN Area Bintaro adalah sebesar 10%, sehingga apabila ditemukan ketidakseimbangan yang melebihi nilai tersebut maka akan diambil tindakan penyeimbangan. Persentase ketidakseimbangan beban dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = I_R + I_S + I_T / 3 \dots \dots \dots (3.4)$$

$$I_R = a \times I_{\text{rata-rata}} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$I_S = b \times I_{\text{rata-rata}} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$I_T = c \times I_{\text{rata-rata}} \dots \dots \dots (3.7)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan (dalam %) adalah:

$$I_{\text{Ketidakseimbangan}} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(3.8)$$

### 3.3. Daya pada Saluran Distribusi

Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama pada keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b, c sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} [I_R] &= a[I] \\ [I_S] &= b[I] \\ [I_T] &= c[I] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan  $I_R, I_S, I_T$  berturut-turut adalah arus dari fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

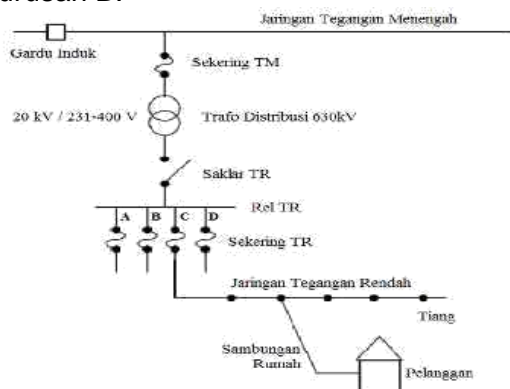
$$P = (a+b+c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(3.10)$$

Kemudian dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :  $a + b + c = 3$ , dimana pada keadaan seimbang, nilai  $a = b = c = 1$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Data Jaringan

Gardu distribusi CD 33 penyulang Sawah terdiri dari 4 jurusanyaitu jurusan A, B, C dan D. Namun disini akan difokuskan pada satu jurusan saja yaitu jurusan B.



**Gambar 4.1** Hubungan Tegangan Menengah Ke Tegangan Rendah dan Konsumen

## 4.2. Pengukuran Beban Gardu Sebelum Pemerataan Beban

Pengukuran arus serta tegangan pada gardu distribusi CD 33 dilaksanakan sebanyak 3 kali. Hal ini dilaksanakan agar mendapatkan data yang lebih akurat. Pengukuran dilaksanakan mulai tanggal 15 Maret 2016 s/d 17 Maret 2016 pada pukul 18.00 WIB yaitu pada waktu beban puncak (17.00 – 22.00). Adapun data pengukuran yang didapat pada Tabel 4.3. Pengukuran yang dilakukan antara lain mengukur besarnya arus pada setiap penghantar fasa dan netral, mengukur tegangan fasa-fasa dan fasa-netral. Hasil pengukuran ini akan digunakan menjadi sebagaimana pada tabel hasil pengukuran.

**Tabel 4.1** Hasil Pengukuran Beban Jurusan B Sebelum Pemerataan Beban

No	TGL	Jam (WIB)	Arus (A)				Tegangan Sekunder (volt)			Faktor Daya
			R	S	T	N	VRN	VSN	VTN	
1.	Kamis,15/03/2016	18:00	67	100	123	30	230	229	228	0.65
2.	Jumat,16/03/2016	18:00	63	97	125	31	230	230	228	0.67
3.	Sabtu,17/03/2016	18:00	65	95	120	33	229	228	227	0.69
Rata-rata			66	97	122	31	230	229	228	0.67
Rata-rata ketiga fasa			95							

### 4.3. Hitungan Ketidakseimbangan Beban Penyulang Tegangan Rendah Jurusan B Sebelum Pemerataan

Ketidakseimbangan pada jurusan B dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_R = a \cdot I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{66}{95} = 0.69$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{97}{95} = 1.02$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{122}{95} = 1.28$$

Pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Ketidakseimbangan beban (dalam%) adalah dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$I_{\text{ketidakseimbangan}} = \frac{\{(a-1)+(b-1)+(c-1)\}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{\{(0.6 - 1)+(1.0 - 1)+(1.2 - 1)\}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{(0.3 + 0.0 + 0.2)}{3} \times 100 \%$$

$$= 20 \% \text{ atau } 19 \%$$

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Ketidakseimbangan Beban Jurusan B Sebelum Pemerataan Beban

Kriteria ketidakseimbangan maksimum* (%)	10%
Ketidakseimbangan beban (%)	20%

\* merupakan ketentuan PLN Area Bintaro

Dari perhitungan didapat hasil ketidakseimbangan beban sebesar 20%, nilai ini telah melebihi kriteria ketidakseimbangan yang dibolehkan di PLN Area Bintaro yaitu sebesar 10 %. Sehingga gardu CD 33 jurusan B ini perlu dilakukan pemerataan beban.

#### 4.4. Hitungan Pembebanan Konduktor JTR

Penampang konduktor fasa pada jurusan B menggunakan penghantar NFA2X-T dengan ukuran 70 mm<sup>2</sup> dengan nilai kemampuan hantar arus sebesar 196 ampere. Persentase pembebanan penghantar berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$I_R = \frac{A}{A} \frac{r}{r} \frac{-r}{n\pi} \times 100 \%$$

$$= \frac{9}{1} \times 100 \%$$

$$= 48,4\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai pembebanan penghantar jaringan tegangan rendah untuk jurusan B adalah 48,4%. Pembebanan masih tergolong sedang karena jumlah pelanggan masih sedikit.

#### 4.5. Menghitung Jumlah Beban yang Lebih Dan yang Kurang Dari Setiap Fasa

1. Dari data pada tabel 4.3 diketahui arus di setiap fasa yaitu :

$$I_R = 66 \text{ A}; I_S = 97 \text{ A}; I_T = 122 \text{ A};$$

$$I_{rata} = 95 \text{ A}$$

2. Hitung selisih arus beban per fasa dengan arus beban rata-rata per fasa pada jurusan B.

$$I_R = 95 - 66 = (+) 29 \text{ A}; I_S = 95 - 97 = (-) 2 \text{ A}; I_T = 95 - 122 = (-) 27 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas diketahui untuk mencapai keadaan pembebanan yang seimbang di setiap fasa pada jurusan C maka fasa R perlu ditambahkan beban sebesar 29 A, fasa S bebannya sebesar 2 A dan fasa T perlu dikurangi bebannya sebesar 27 A, dengan catatan tidak ada penambahan beban. Sehingga didapat pembebanan setiap fasa yang seimbang, seperti berikut :

$$\text{Fasa R} = 66 + 29 = 95 \text{ A}$$

$$\text{Fasa S} = 97 - 2 = 95 \text{ A}$$

$$\text{Fasa T} = 122 - 27 = 95 \text{ A}$$

#### 4.6. Menentukan Banyaknya Sambungan Pelanggan yang Dipindah

Besar arus beban yang akan dipindahkan dari fasa T sebesar 27 A, untuk mengetahui banyaknya jumlah sambungan pelanggan untuk arus 27 A ini sebagai berikut :

Misalkan dipindahkan 2 pelanggan, dimana daya 1 pelanggannya adalah 1300 VA, tegangannya 230 V sehingga perhitungan sebagai berikut :

$$I_{transfer} = S/V = 2/2 = 11,3 \text{ A}$$

Kemudian nilai  $I_{transfer}$  ini dikalikan dengan faktor kebersamaan, dimana faktor kebersamaan untuk pelanggan dengan daya terpasang sama diambil 0.65 sehingga menjadi  $11.3 \times 0.65 = 7,3 \text{ A}$ .

Perhitungan dilakukan sampai mendapatkan nilai  $I_{transfer}$  sebesar 27 A atau mendekati, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 4.3** Hasil Perhitungan Untuk Jumlah Pelanggan yang Dipindah

No	Jumlah pelanggan	Total daya (VA)	$I_{transfer}$ (A)
1.	2	2600	9.6
2.	3	3900	14.4
3.	4	5200	19.2
4.	5	6500	27
5.	6	7800	27.1

Pada tabel diatas diketahui jumlah pelanggan untuk besar arus beban 27 adalah 5 pelanggan. Kemudian dari lima pelanggan yang dipindahkan ini, pembagian jumlah pelanggan yang dipindahkan ke phasa R dan phasa S sebagai berikut

$$I_R = a \cdot I \quad \text{maka:} \quad a = \frac{I_R}{I} = \frac{106}{107} = 0.99$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{maka:} \quad b = \frac{I_S}{I} = \frac{108}{107} = 1.00$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{maka:} \quad c = \frac{I_T}{I} = \frac{107}{107} = 1$$

Untuk mencapai keadaan pembebanan seimbang phasa S perlu ditambahkan beban sebanyak 3 A yaitu :

$$\begin{aligned} S &= V \times I \\ &= 230 \times 3 \\ &= 630 \text{ VA} \end{aligned}$$

Daya untuk 3 A adalah 630 VA, ini masih dibawah daya 1300 VA sehingga jumlah pelanggan yang dipindahkan ke phasa S adalah 1 pelanggan. Sisanya sebanyak 4 pelanggan dipindahkan ke phasa R.

#### 4.7. Pengukuran Beban Gardu Setelah Pemerataan Beban

Pengukuran arus serta tegangan dilaksanakan selama 3 kali pengukuran, hal ini dilaksanakan agar mendapatkan data yang lebih akurat. Pengukuran dilaksanakan mulai tanggal 22 Maret 2017 s/d 24 Maret 2017 pada pukul 18.00 WIB pada waktu beban puncak (18.00 – 22.00). Adapun data pengukuran yang didapat adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.4** Hasil Pengukuran Jurusan B Setelah Pemerataan Beban.

No	TGL	Jam (WIB)	Arus(A)				Tegangan Sekunder (V)			Faktor Daya	
			R	S	T	N	VRN	VSN	VTN		Cose
1.	Selasa,22/03/2017	18:00	105	110	109	7	230	230	232	0.68	
2.	Rabu,23/03/2017	18:00	107	109	105	5	229	233	230	0.66	
3.	Kamis, 24/03/2017	18:00	108	104	108	6	230	230	230	0.67	
Rata-rata			106	108	107	6	229	230	230	0.67	
Rata-rata ketiga phasa			107								

#### 4.8. Hitungan Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Setelah Pemerataan

Dengan menggunakan persamaan 3.14, 3.15, 3.16, koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya dimana besarnya arus phasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ( $I_{Rata}$ ). Pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1. Ketidakseimbangan beban (dalam %) dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan} &= \frac{\{(a-1)+(b-1)+(c-1)\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{\{(0.99-1)+(1.00-1)+(1-1)\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{(0.0 - 0.0 + 0.0)}{3} \times 100 \% \\ &= 1 \% \end{aligned}$$

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran Ketidakseimbangan Beban Jurusan B Setelah Pemerataan Beban

Kriteria ketidakseimbangan maksimum* (%)	10%
Ketidakeimbangan beban (%)	1%

\* merupakan ketentuan PLN Area Bintaro

Nilai ketidakseimbangan beban turun menjadi 1 % setelah dilakukan pemerataan beban, nilai ini telah jauh dibawah kriteria ketidakseimbangan maksimum yaitu 10 %.

### 5. KESIMPULAN

1. Ketidakseimbangan beban antar phasa akan berpengaruh pada kinerja trafo, panas berlebih pada phasa beban lebih, arus mengalir pada kawat netral, drop tegangan ujung pada jaringan phasa beban lebih.
2. Penyeimbangan beban merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketidakseimbangan beban, yaitu dengan menyeimbangkan beban antara ketiga phasa.
3. Pekerjaan Pemerataan beban tidak menjadikan arus pada ketiga penghantar tepat seimbang karena karakteristik penggunaan listrik pada tiap-tiap rumah yang berlainan.
4. Setelah dilakukan penyeimbangan beban pada jurusan B gardu distribusi CD 33 ketidakseimbangan beban

turun menjadi 1 % dimana sebelumnya adalah 20 %.

## 6. REFERENSI

1. Abdul Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta. UI-Press.
2. Abdul Kadir. 1989. *Transformator*. Jakarta. PT. Elex Media Komputindo.
3. James J. Burke. 1994. *Power Distribution Engineering Fundamentals And Application*. New York. Marcel Dekker Inc.
4. Noerdayanto. 2007. *Pemeliharaan Trafo Distribusi*. Surabaya : PT PLN (Persero) Udiklat Pandaan.
5. PUIL. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
6. Rohmat, K. 2010. *Pengoperasian Trafo Distribusi*. Surabaya : PT PLN (Persero) Udiklat Pandaan.
7. Sudaryatno Sudirham, Dr. 1991. *Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya Pada Saluran*. Bandung. ITB. Tim Pelaksana Kerjasama PLN-ITB.
8. Zuhail. 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung. ITB.