

STUDI BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP ARUS NETRAL PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI P70 PADA PLN CABANG PALU

Yulius Salu Pirade*

Abstract

The unbalanced load in electric power distribution system always happen and it is caused by single phase loads on low voltage system.

The effect of the unbalanced load is appear as a neutral current. These neutral current cause losses, those are losses caused by neutral current flows to ground.

In conclusion, when high unbalanced load happened (62,58%), then the neutral that the appear is also high (126 A), ultimately the losses that caused by the neutrall current flows to ground will be high too.

Keyword: *Unbalanced load, neutral current*

1. Pendahuluan

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk disalurkan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Segala lapisan masyarakat kini kian memerlukan dan bahkan bergantung akan suatu penyediaan tenaga listrik yang baik dan handal. Kini tidak saja energi listrik hanya disalurkan kepada para pemakainya, namun diperlukan juga dalam jumlah yang semakin besar dan dengan mutu serta keandalan yang lebih tinggi. Karnanya, sistem distribusi tenaga listrik yang merupakan penyaluran langsung antara pusat pembangkit dan transmisi tenaga listrik dengan para pemakai menjadi kian penting.

Pada awalnya penyediaan tenaga listrik, suatu sistem distribusi dianggap hanya sebagai tambahan atau pelengkap suatu pusat tenaga listrik, mutu dalam arti pengaturan tegangan dan keandalan, tidak mendapat pertimbangan yang berarti. Kini dengan meluasnya pemakaian tenaga listrik, tuntutan kepada sistem distribusi menjadi

lebih besar dan kompleks. Bukan saja perlu melayani jumlah pelanggan yang lebih besar, akan tetapi juga diperlukan pengawasan yang teliti terhadap variasi tegangan pada terminal pemakai, serta diinginkan adanya taraf keandalan yang lebih tinggi.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Transformator

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

Pengunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Serta merupakan

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu : arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak balik maka jumlah garis gaya magnet berubah – ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah – ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

2.2 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- 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 :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- I_{FL} : arus beban penuh (A)
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi sekunder tranformator (kV)

2.3 Rugi – Rugi Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator.

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

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- P_N : *losses* pada penghantar netral trafo (watt)
- I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)
- R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

2.4 Beban Tidak Seimbang

Dalam memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya direncanakan secara merata, namun dalam pelaksanaannya dilapangan tidak terpasang secara merata. Dari hal tersebut sehingga terjadilah ketidakseimbangan beban pada fasa R, fasa S, dan fasa T.

Keadaan seimbang (Gambar 1) adalah keadaan dimana:

- 1) Ketiga vektor arus/tegangan sama besar.
- 2) Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat dari keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

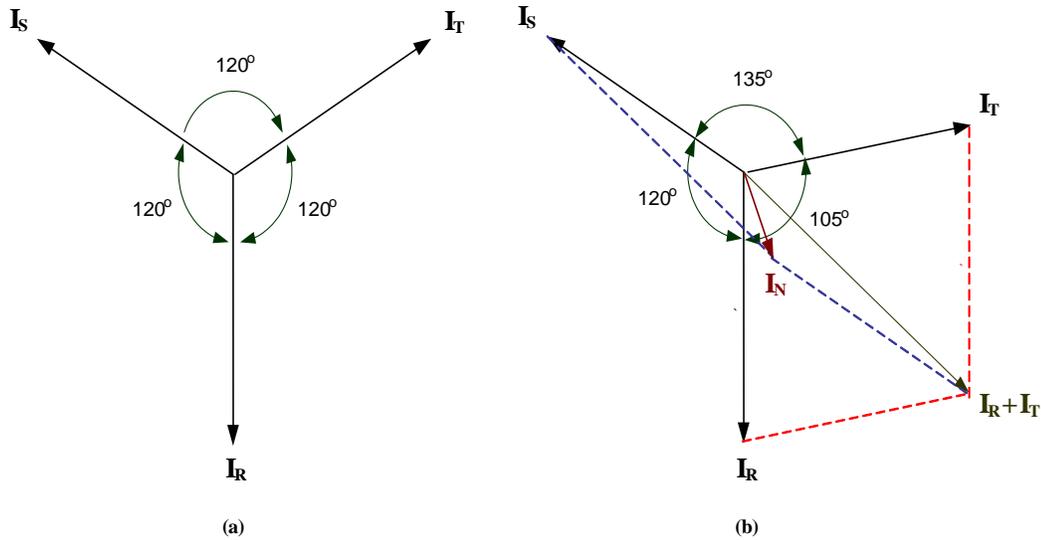
Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi).

2.5 Sistem Penyaluran dan Susut Daya Listrik

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

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad \dots\dots\dots (4)$$

- dengan : P : daya pada ujung kirim
- V : tegangan pada ujung kirim
- $\cos \phi$: faktor daya



Gambar 1. Vector Diagram Arus

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

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

$$\left. \begin{aligned} [I_R] &= a[I] \\ [I_S] &= b[I] \\ [I_T] &= c[I] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

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

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(6)$$

Apabila persamaan (d) dan persamaan (b) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan

untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots(3)$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

3. Metode Penelitian

3.1. Alat yang digunakan

- Ampere meter / Tang Ampere
- Volt meter
- AVO meter
- Fasa detector

3.2. Data dan Hasil Pengukuran

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan pengambilan data dan pengukuran langsung pada gardu PLN P70 dengan menggunakan beberapa alat ukur diantaranya ialah: Tang amper dan multimeter. Penggunaan alat ukur tersebut untuk mengukur besarnya arus pada setiap fasa pada sisi sekunder transformator yang menunjukkan ketidakseimbangan dan mengukur tegangan keluaran transformator dan tegangan ujung penghantar pada terminal konsumen.

1) Spesifikasi transformator pada gardu P70

- **Buatan Pabrik** : PAUWELS TRAF0

- Tipe : Outdoor
- Daya : 200 KVA
- Tegangan Kerja : 21/20,5/20/19,5/19 KV//400 Volt Arus: 5.77 – (288,7 – 500) Amper
- Hubungan : Dyn5
- Impedansi : 3,98 %
- Trafo : 1 x 3 phasa



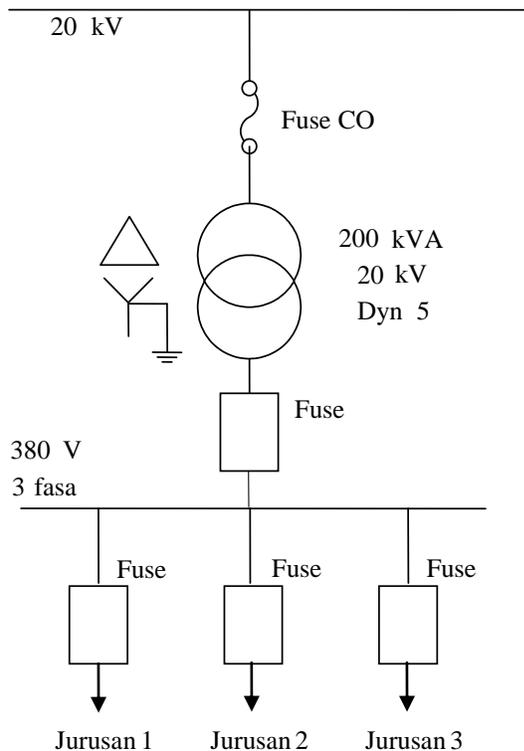
Gambar 2. Foto Trafo Distribusi P70



Gambar 4. Foto Pengukuran Arus Pada Trafo

3.2 Tabel hasil pengukuran trafo distribusi 200 KVA

Hasil pengukuran trafo distribusi 200 Kva disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Single line diagram transformator gardu distribusi P70

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Skema Aliran Arus pada Sisi Sekunder Trafo

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm² dengan R = 0,6842 Ω / km, sedangkan untuk kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan R = 0, 5049 Ω / km.

4.2 Analisa Pembebanan Trafo

$$S = 200 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa-phasa}$$

$$\text{Cos } \phi = 0,85$$

Arus Beban Penuh:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200000}{\sqrt{3} \times 400} = 288,68 \text{ Amper}$$

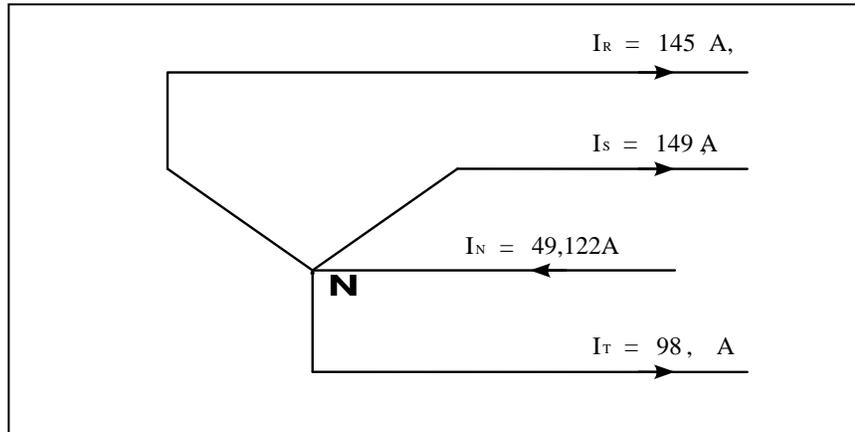
- Pengukuran Hari Kamis 09 Oktober 2008
Arus rata-rata pada siang hari pukul 09-30 Wita:

$$I_{rata-rata\text{siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{145 + 149 + 98}{3} = 130,67$$

Amper

Tabel 1. Hasil Pengukuran Trafo Distribusi 200 KV_a

Fasa	Jurusan				S (KvA)	V (P-N) (Volt)	Tegangan Ujung (Volt)
	Induk	Hang tuah bukit sova	BLK	Hang tuah lap golf			
1	2	3	4	5	6	7	8
Pengukuran pada siang hari Kamis 09 Oktober 2008 Pukul 09-30 wita							
R	145	18	5	155	32,190	222	189
S	149	66	5	78	33,376	224	223
T	98	8	2	90	21,854	223	168
I_N	69	37	9	45			
Pengukuran pada malam hari Kamis 09 Oktober 2008 Pukul 19-00 wita							
R	209	179	0	26	47,861	229	175
S	213	117	0	90	49,203	231	223
T	120	101	0	11	27,600	230	182
I_N	126	78	0	49			
Pengukuran pada siang hari Jumat 10 Oktober 2008 Pukul 09-30 wita							
R	145	127	0	20	31,610	218	170
S	166	91	5,7	9	37,184	224	223
T	89	70	2	67	19,936	224	192
I_N	91	62	10	40			
Pengukuran pada malam hari Jumat 10 Oktober 2008 Pukul 19-00 wita							
R	229	190	0	30	51,754	226	162
S	231	128	3	100	51,744	224	223
T	142	131	0	14	32,376	228	182
I_N	119	73	0	62			
Pengukuran pada siang hari Sabtu 11 Oktober 2009 Pukul 09-30 wita							
R	170	153	0	17	38,760	228	175
S	155	95	2	56	35,960	232	223
T	101	97	0	10	23,533	233	210
I_N	77	56	0	26			
Pengukuran pada malam hari Sabtu 11 Oktober 2009 Pukul 19-00 wita							
R	215	173	0	25	48,805	227	164
S	229	125	2	102	52,212	228	223
T	145	124	0	12	33,205	229	180
I_N	108	73	17	57			



Gambar 5. Skema Aliran Arus pada Sisi Sekunder Trafo

Arus rata-rata pada malam hari pukul 19-00 wita:

$$I_{rata-ratamalam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{209 + 213 + 120}{3} = 180,67 \text{ Amper}$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

a. Pada siang hari pukul 09-30 wita:

$$\frac{I_{rata-ratasiang}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{130,67}{288,68} \times 100\% = 45,26\%$$

b. Pada malam hari pukul 19-00 wita:

$$\frac{I_{rata-ratamalam}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{180,67}{288,68} \times 100\% = 62,58\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada saat malam hari (WBP = Waktu Beban Puncak) persentase pembebanan cukup tinggi yaitu 62,58%.

4.3 Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

a. Pengukuran hari Kamis 09 Oktober 2008

✓ Pada siang hari pukul 09-30 wita:

Dengan menggunakan persamaan (c), maka koefisien a,b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan

seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$).

$$I_R = a \cdot I \quad \text{maka:} \quad a = \frac{I_R}{I} = \frac{145}{130,67} = 1,10$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{maka:} \quad b = \frac{I_S}{I} = \frac{149}{130,67} = 1,14$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{maka:} \quad c = \frac{I_T}{I} = \frac{98}{130,67} = 0,75$$

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,10-1| + |1,14-1| + |0,75-1|\}}{3} \times 100\% = 16,33\% \end{aligned}$$

b. Pada malam hari pukul 19-00 wita:

Dengan menggunakan persamaan (c), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$).

$$I_R = a \cdot I \quad \text{maka:} \quad a = \frac{I_R}{I} = \frac{209}{180,66} = 1,15$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{maka:} \quad b = \frac{I_S}{I} = \frac{213}{180,66} = 1,17$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{maka:} \quad c = \frac{I_T}{I} = \frac{120}{180,66} = 0,66$$

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

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ = \frac{\{|1,15-1|+|1,17-1|+|0,66-1|\}}{3} \times 100\% = 22,00\%$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa persentase ketidakseimbangan beban 22% pada malam hari dibandingkan dan pada siang hari 16,33%, hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata pada konsumen.

4.4 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo

Pengukuran hari Kamis 09 Oktober 2008

Dimana daya aktif trafo (P):

$P = S \cdot \cos \varphi$, dimana $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 200 \cdot 0,85 = 170 \text{ kW}$$

- ✓ Pada siang hari pukul 09-30 wita:
Dari tabel pengukuran, dengan menggunakan persamaan (a), losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$I_N = 69 \text{ Amper}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$P_N = 69^2 \times 0,6842 = 3257,47 \text{ Watt} \approx 3,25 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$\% P_N = \frac{3,25 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} \times 100\% = 1,91\%$$

- ✓ Pada malam hari pukul 19-00 wita:

Dari tabel pengukuran, dengan menggunakan persamaan (a), losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$I_N = 126 \text{ Amper}$$

$$R_N = 0,6842 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$P_N = 126^2 \times 0,6842 = 10862,35 \text{ Watt} \approx 10,862 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$\% P_N = \frac{10,862 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} \times 100\% = 6,38\%$$

Dengan mensubstitusi data pada Tabel 1. maka didapatkan hasil analisa keseluruhan seperti terlihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2. terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir dipenghantar netral trafo (I_N) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo (P_N). Dengan semakin besar arus netral dan losses di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar fasanya (70 mm^2) maka losses arus netralnya akan turun.

Tabel 2. Losses pada Trafo Distribusi 200 KVA P 70

R_N (Ω)	waktu	Persentase pembebanan trafo (%)	Rata-Rata Ketidakseimbangan Beban (%)	I_N (A)	P_N (KW)	P_N (%)
Kamis, 09 Oktober 2008						
0,6842 (50 mm ²)	Siang	45,26%	16,33%	69	3,25	1,91%
	Malam	62,58%	22,00%	126	10,86	6,38%

Tabel 2. (lanjutan)

R_N (Ω)	waktu	Persentase pembebanan trafo (%)	Rata-Rata Ketidakseimbangan Beban (%)	I_N (A)	P_N (KW)	P_N (%)
Kamis, 09 Oktober 2008						
0,5049 (70 mm ²)	Siang	45,26%	16,33%	69	2,40	1,41%
	Malam	62,58%	22,00%	126	8,00	4,70%
Jumat, 10 Oktober 2008						
0,6842 (50 mm ²)	Siang	46,19%	22,00%	91	5,66	3,33%
	Malam	69,50%	19,66%	119	9,68	5,69%
0,5049 (70 mm ²)	Siang	46,19%	22,00%	91	4,18	2,45%
	Malam	69,50%	19,66%	119	7,15	4,20%
Sabtu, 11 Oktober 2008						
0,6842 (50 mm ²)	Siang	49,19%	19%	77	4,05	2,38%
	Malam	68,01%	17,33%	108	7,98	4,69%
0,5049 (70 mm ²)	Siang	49,19%	19%	77	2,99	1,76%
	Malam	68,01%	17,33%	108	5,89	3,46%

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa diatas, terlihat bahwa pada siang hari beban tidak seimbang pada transformator Gardu Beton semakin besar karena penggunaan beban listrik pada tiap – tiap fasa tidak merata. Sesuai Tabel 2, semakin besar beban tidak seimbang pada transformator Gardu Beton maka arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar.

5.2 Saran

Sesuai dengan hasil penelitian pada Gardu Beton P 70 pada PLN Cabang Palu disarankan agar beban yang terpasang pada tiap – tiap fasa akan diadakan penyeimbangan beban kembali, supaya jangan terjadi arus netral yang mengalir ke tanah besar.

6. Daftar Pustaka

- Abdul Kadir, 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta, UI – Press, 2000.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, 2000. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- James J. Burke, 1994. *Power Distribution Enginerring – Fundaments And Applications*, New York : MarcelDekker Inc.
- Sudaryantno Sudirman, Dr, 1991. *Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran* : ITB, Tim Pelaksana Kerjasama PLN – ITB, 1991.