Power Losses Pada Ketidakseimbangan Beban Transformator 3 Phase (Studi Kasus Transformator 3 Fasa PT Smart Tbk)

Deni Rachmat^{1,1*}, Novelita W.Mondamina¹, Felix¹

¹Teknologi Pengolahan Sawit, Institut Teknologi Sains Bandung, Indonesia

Abstrak

Ketidakseimbangan beban listrik 3 ϕ , 50Hz, 380/220 V dari pasokan transformator dapat menyebabkan penurunan kinerja transformator, gangguan pada setiap penghantar fasa (R, S, T), dan timbulnya arus mengalir pada penghantar netral (Arus Netral) dan penghantar tanah (Arus Grounding). Arus yang mengalir pada penghantar netral dan grounding menyebabkan kerugian (losses) biaya arus netral dan arus grounding, sedangkan ketidakseimbangan beban pada setiap fasanya dapat menyebabkan kerugian biaya arus fasa dari transformator menuju beban. Penelitian ini adalah mengkaji seberapa besar kerugian akibat ketidakseimbangan beban pada jaringan listrik dari transformator ke beban. Metode yang digunakan untuk menentukan kerugian daya listrik (power losses) pada ketidakseimbangan beban adalah dengan mengukur dan menghitung arus beban yang tidak seimbang pada masing-masing fasa serta resistansi penghantar baik itu pada penghantar fasa (R, S, T) dan netral N, maupun grounding G. Perhitungan ini dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui besar kerugian daya listrik akibat adanya arus yang mengalir akibat ketidakseimbangan beban. Diperoleh besar biaya kerugian losses akibat adanya arus netral dan arus grounding Rp 3.543.989,76 per tahun sedangkan losses pada masing-masing fasanya adalah 44.885.252,04 per tahun, sehingga total biaya kerugian listrik pada ketidakseimbangan beban adalah Rp 48.429.241,80 per tahun

Kata kunci: Ketidakseimbangan beban, Transformator, Arus netral, Arus grounding, Arus fasa, Losses

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang harus dipenuhi untuk menjalankan berbagai mesin pengolahan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Kualitas dan kontinuitas pelayanan daya listrik dari transformator syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam sistem penyaluran daya listrik dari sumber menuju beban listrik. Listrik dari pembangkitan di PKS dinaikkan tegangannya oleh transformator step up 400/6900 V, kemudian dikirim melalui jalur distribusi ke beban melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), sebelum menuju beban tegangan rendah (380/220 V),

tegangan diturunkan melalui transformator step down (6900/380/220 V). Transformator step down 6900/380 V_{L-L} /220 V_{L-N} yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut: Merk *Centrado*, Type winding DYn5, impedansi 4%, *Apperant Power Rated 100 KVA*, Tegangan sisi primer 6900V, sisi sekunder 380 V_{L-L} /220 V_{L-N} .

Suplai daya listrik dari transformator ini dialirkan ke *Main Distribusi Panel* Beban menggunakan penghantar 3 fasa-1 netral (R, S, T, N), dan dari MDP ke masing-masing beban 220 Volt menggunakan 2 penghantar pada masing masing fasanya yaitu R-N, S-N, T-N, pada frekuensi 50 Hertz^[1]. Sistem

^{1*} Corresponding author: denirachmat.37@yahoo.com

penyaluran daya listrik dari transformator dikatakan seimbang atau simetri jika tegangan tiga fasa dan arusnya memiliki amplitudo yang sama dan mempunyai beda fasa sebesar 120° terhadap satu sama lain. Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi maka sistem dikatakan tidak seimbang (*Unbalanced*)^[2]. Sistem yang tidak seimbang tersebut dapat menyebabkan arus mengalir pada penghantar netral dan grounding. Pada kondisi setimbang arus yang mengalir pada tiap fasa haruslah memiliki nilai yang hampir sama, namun pada kenyataannya sering terjadi ketidakseimbangan beban antara fasa satu dengan fasa lainnya. Ketidakseimbangan beban disebabkan oleh beberapa faktor, dimulai dari pemakaian beban yang tidak seimbang pada setiap fasa dan gangguan pada salah satu fasa. Ketidakseimbangan beban dapat mengakibatkan rugi daya listrik, gangguan pada salah satu fasa dalam kumparan transformator dan mengurangi kualitas daya listrik dialirkan uraian ketidakseimbangan ini perlu dilakukan pengkajian ketidakseimbangan beban guna mengurangi arus pada penghantar netral yang dapat menimbulkan kerugian daya listrik (*losses*)^[3].

Gangguan ketidakseimbangan pada transformator 3 fasa dapat menyebabkan adanya arus netral dan arus grounding yang mengalir menuju transformator. Secara teknis dapat menurunkan kinerja (Efisiensi dan Voltage regulator) transformator serta rugi daya listrik pada setiap fasa (R,S,T)

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian kerugian *losses* arus *netral*, arus *grounding* akibat ketidakseimbangan beban. Pada penelitian ini akan dihitung besar biaya kerugian listrik akibat ketidakseimbangan beban arus netral, arus grounding dan arus

fasa yang mengalir pada setiap fasa R,S,T. Dengan diketahuinya kerugian daya listrik diharapkan dapat mejadi pedoman langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penanggulangan kualitas daya listrik.

II. METODE PENELITIAN

Berikut tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini:

II.1. Tahap 1

Tahap ini merupakan tahap awal penelitian. Pada tahap ini kegiatan penelitian meliputi, merumuskan masalah dan tujuan penelitian. Pada saat yang bersamaan dilakukan pula studi kepustakaan dan Studi lapangan. Studi kepustakaan bertujuan untuk mendapatkan sumber referensi dan dasar rumusan teoritis yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti untuk selanjutnya dijadikan landasan teoritis dalam melaksanakan penelitian. Studi lapangan bertujuan untuk menentukan lokasi penelitian, pengukuran, kapasitas peralatan terpasang, sistem pembangkitan dan penyaluran daya listrik. Berdasarkan landasan teori, dan pengukuran dilapangan kemudian dibuat variabel-variabel yang akan diambil data yang berkaitan dengan masalah penelitian. Variabel penelitian tersebut adalah tegangan listrik, arus listrik, daya listrik, faktor daya.

II.2. Tahap 2

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang langsung dikumpulkan dari sumber pertama yaitu pengukuran langsung besaran listrik dengan alat ukur listrik, sedangkan data sekunder adalah data yang telah tersusun dalam bentuk dokumen-dokumen tertulis. Pengumpulan data primer dan data sekunder dilakukan dengan metode wawancara,

observasi dan kuesioner. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan alat ukur kelistrikan (*Digital Clamp Meter*). Sampel pada penelitian ini adalah Transformator 3 Fasa di Pabrik Kelapa Sawit di lingkungan PT. Smart Tbk.

II.3. Tahap 3

Berdasarkan hasil pengumpulan data, maka dilakukan analisis untuk menjawab pertanyaan penelitian. Data dari hasil pengumpulan data diidentifikasi untuk melihat ketidakseimbangan beban dan kerugian daya listrik (*Power Losses*), kemudian menghitung total besar kerugian yang timbul karena beban tidak seimbang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1. Pembebanan Transformator

Rating daya pada transformator step down 6600/400 V, 3 ϕ , 50 Hz adalah $S = 100$ KVA, $V = 400$ V_{L-L}, $S = \sqrt{3} \times V \times I$, Arus full load beban trafo 100 KVA adalah $I_{FL} = 144,34$ Ampere.

Hasil Pengukuran Arus pada masing-masing fasa (R, S, T) menunjukkan $I_R = 87,84$ Ampere; $I_S = 72,88$ Ampere; $I_T = 97,92$ Ampere, $I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T)/3 = 86,21$ Ampere

Jadi persentase pembebanan transformator distribusi adalah: % pembebanan = $(I_{Rata-rata} \text{ fasa R, S, T} / I_{FL} \times 100\%) = (86,21 / 144,34) \times 100\% = 59,71\%$. Transformator masih bekerja di bawah batas maksimal pembebanan ($86,21 \text{ A} < 144,34 \text{ Ampere}$) sehingga masih bisa dilakukan penambahan beban [4].

III.2. Ketidak seimbangan Beban

Persentasi ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa dapat ditentukan dengan mencari koefisien a, b, dan c, yaitu dengan perbandingan Arus rata-rata hasil

pengukuran fasa R, S dan T terhadap Arus rata-rata total R, S, T [5]

$$[I_{Rata-rata}] = a_{Rata-rata} \times I_{Rata-rata \text{ beban}}, \text{ jadi } a_{Rata-rata} = I_{Rata-rata \text{ fasa R}} / I_{Rata-rata \text{ beban R,S,T}} = 87,84/86,21 = 1,02$$

$$[I_{S \text{ rata-rata}}] = b_{Rata-rata} \times I_{Rata-rata \text{ R,S,T}}, \text{ jadi } b_{Rata-rata} = I_{Rata-rata \text{ fasa S}} / I_{Rata-rata \text{ beban R,S,T}} = 72,88/86,21 = 0,85$$

$$[I_{T \text{ rata-rata}}] = c_{Rata-rata} \times I_{Rata-rata \text{ R,S,T}}, \text{ jadi } c_{Rata-rata} = I_{Rata-rata \text{ fasa T}} / I_{Rata-rata \text{ beban R,S,T}} = 97,92/86,21 = 1,14$$

Hasil perhitungan di atas dapat digunakan untuk menghitung rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persentase. Secara matematis dinyatakan menggunakan persamaan:

$$\{|a_{Rata-rata \text{ fasa R}} - 1| + |b_{Rata-rata \text{ fasa S}} - 1| + |c_{Rata-rata \text{ fasa T}} - 1|\} / 3 \times 100\% = \{|1,02 - 1| + |0,85 - 1| + |1,14 - 1|\} / 3 \times 100\% = 11,67\%$$

Persentase ketidak seimbangan beban ini terbagi dalam masing-masing fasa yaitu:

$$\text{Fasa R} = |a_{Rata-rata \text{ fasa R}} - 1| \times 100\% = |1,02 - 1| \times 100\% = 0,02 \times 100\% = 2\%,$$

$$\text{Fasa S} = |b_{Rata-rata \text{ fasa S}} - 1| \times 100\% = |0,85 - 1| \times 100\% = 0,15 \times 100\% = 15\%,$$

$$\text{Fasa T} = |c_{Rata-rata \text{ fasa T}} - 1| \times 100\% = |1,14 - 1| \times 100\% = 0,047 \times 100\% = 14\%.$$

Tidak ada standar untuk arus ketidakseimbangan beban, akan tetapi ANSI C.84.1 memberikan perhatian batas standar maximum tegangan ketidakseimbangan adalah 3% [4]. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban sudah melebihi standar pada fasa R, S, T (2%, 15% dan 14%), sehingga perlu dilakukan penyeimbangan beban dengan mentransposisikan beban, agar beban tiap fasa R, S, T dapat seimbang, menyusun ulang sistem instalasi beban.

III.3. Kajian daya pada fasa R, S, T akibat arus ketidakseimbangan beban

Dari hasil pengukuran arus, tegangan dan $\cos \phi$, diperoleh perhitungan daya pada masing-masing fasa akibat ketidakseimbangan beban, selanjutnya dari perhitungan daya pada masing masing fasa tersebut dapat diperoleh persamaan deviasi daya listrik (ΔP) pada fasa R, S, T sebagai berikut:

$$\Delta P_{(R,S,T)} = |a_R - 1| \cdot \underline{P}_R + |b_S - 1| \cdot \underline{P}_S + |c_T - 1| \cdot \underline{P}_T \quad \text{kW} \dots \dots (1.1)$$

Dimana:

$|a_R - 1| = 0.02 = 2\%$ Persentase ketidakseimbangan fasa R

$|b_S - 1| = 0.15 = 15\%$ Persentase ketidakseimbangan fasa S

$|c_T - 1| = 0.14 = 14\%$ Persentase ketidakseimbangan fasa T

$\underline{P}_R$ = Daya rata-rata fasa R:

$$\underline{P}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Rj} \quad \text{kW}$$

$\underline{P}_S$ = Daya rata-rata fasa S:

$$\underline{P}_S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Sj} \quad \text{kW}$$

$\underline{P}_T$ = Daya rata-rata fasa T:

$$\underline{P}_T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Tj} \quad \text{kW}$$

Selanjutnya persamaan deviasi daya listrik dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta P_{(R,S,T)} = |a_R - 1| \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Rj} + |b_S - 1| \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Sj} + |c_T - 1| \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Tj}$$

Dimana:

$$P_{Rj} = \sqrt{3} \cdot I_{Rj} \cdot \cos \phi_{Rj} \cdot V_{L-L(Rj)}$$

$$P_{Sj} = \sqrt{3} \cdot I_{Sj} \cdot \cos \phi_{Sj} \cdot V_{L-L(Sj)}$$

$$P_{Tj} = \sqrt{3} \cdot I_{Tj} \cdot \cos \phi_{Tj} \cdot V_{L-L(Tj)}$$

P_{Rj} = Daya listrik pada fasa R, data ke j

P_{Sj} = Daya listrik pada fasa S, data ke j

P_{Tj} = Daya listrik pada fasa T, data ke j

j = 1, 2, 3, ... n

Hasil pengukuran menunjukan bahwa besar beban pada fasa R, S, dan T berbeda antara satu dengan lain dan berbeda pada setiap kali dilakukan pengukuran, oleh karena itu dilakukan perhitungan setiap fasa dari setiap pengukuran masing-masing fasa, sebagai contoh perhitungan daya akibat ketidakseimbangan beban pada masing masing fasa untuk pengukuran yang pertama ditunjukkan sebagai berikut:

- Arus fasa R pada *pengukuran pertama* = 89,5 A, V_{L-L} Fasa R pada pengukuran pertama = 340 Volt, $\cos \phi = 0,94$ maka daya pada fasa R adalah $P_{R1} = \sqrt{3} \cdot 89,5 \cdot 0,94 = 49.54 \text{ kW}$. Persentase daya akibat ketidakseimbangan beban untuk fasa R pada pengukuran pertama adalah,

$|a_R - 1| = 1,02 - 1 = 0,02 \times 100\% = 2\%$,
dan $P_{11} = 0,02 \times 49,54 = 0,99 \text{ kW}$

- b. Arus fasa S pada pengukuran pertama = 81,0 A, V_{L-L} Fasa S pada pengukuran pertama = 350 Volt, $\cos \phi = 0,94$, maka daya pada fasa S adalah $P_{S1} = \sqrt{3} \cdot 350 \cdot 81 \cdot 0,94 = 46,16 \text{ kW}$. Persentase daya akibat ketidakseimbangan beban untuk fasa S adalah, $|b_S - 1| = |0,85 - 1| = 0,15 \times 100\% = 15\%$, dan $P_{21} = 15\% \times P_{21} = 0,15 \times 46,16 = 6,92 \text{ kW}$
- c. Arus fasa T pada pengukuran pertama = 92,40 A, V_{L-L} Fasa S pada pengukuran pertama = 345 Volt, $\cos \phi = 0,94$, $P_{T1} = \sqrt{3} \cdot 350 \cdot 92,40 \cdot 0,94 = 51,90 \text{ kW}$. Persentase untuk fasa T adalah, $|c_T - 1| = |1,14 - 1| = 0,14 \times 100\% = 14\%$, dan $P_{31} = 14\% \times P_{31} = 0,14 \times 51,90 \text{ kW} = 7,27 \text{ kW}$

Perhitungan daya listrik pada pengukuran yang pertama menunjukkan bahwa pada masing-masing fasa memiliki nilai yang berbeda.

Pada penelitian ini pengukuran arus, tegangan dan $\cos \phi$ dilakukan 35 kali pengukuran dalam rentang waktu 1 jam, sehingga diperoleh perhitungan daya rata-rata pada masing-masing fasa (R,S,T) adalah sebagai berikut:

a. Arus rata-rata fasa R:

$$I_R = \frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Rj} = 87,84 \text{ Ampere}$$

b. Arus rata-rata fasa S:

$$I_S = \frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Sj} = 72,88 \text{ Ampere}$$

c. Daya rata-rata fasa T:

$$I_T = \frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Tj} = 97,92 \text{ Ampere}$$

III.4. Kajian losses pada masing masing fasa

Losses pada masing-masing fasa saat arus mengalir pada beban tidak seimbang adalah kuadrat arus masing-masing fasanya dikalikan dengan besar tahanan penghantar masing-masing fasa.

Dari hasil pengukuran diperoleh arus rata-rata masing masing fasa $I_R = 87,84 \text{ A}$, $I_S = 72,88 \text{ A}$, dan $I_T = 97,92 \text{ A}$, kemudian dari spesifikasi kabel $3C \times 35 \text{ mm}^2 + 1 \times 25 \text{ mm}^2$ yang digunakan memiliki hambatan $R = 0,668 \text{ Ohm/km}$, dengan jarak instalasi Trafo menuju panel 400 m, sehingga hambatannya adalah $R = 0,668 \text{ Ohm/km} \times 0,4 \text{ km} = 0,267 \text{ Ohm}^{[6]}$.

Losses pada masing-masing fasa:

$$P_{Loss,R} = I_R^2 \cdot R = \left(\frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Rj} \right)^2 \cdot R$$

$$= 87,84^2 \times 0,267 = 2,06 \text{ kW}$$

$$P_{Loss,S} = I_S^2 \cdot R = \left(\frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Sj} \right)^2 \cdot R$$

$$= 72,88^2 \times 0,267 = 1,42 \text{ kW}$$

$$P_{Loss,T} = I_T^2 \cdot R = \left(\frac{1}{35} \sum_{j=1}^{n=35} I_{Tj} \right)^2 \cdot R$$

$$= 97,92^2 \times 0,267 = 2,56 \text{ kW}$$

Total losses pada penghantar fasa adalah:

$$P_{Loss,\phi} = 2,06 \text{ kW} + 1,42 \text{ kW} + 2,56 \text{ kW}$$

$$= 6,04 \text{ kW}$$

III.5. Kajian losses pada penghantar Netral

Losses akibat adanya arus netral (PL) yang mengalir pada penghantar netral

$$PL_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{N(i)}^2 \cdot R_N \quad (\text{kW}) \dots \dots \dots (1.2)$$

Dengan besar nilai tahanan netral R_N dihitung, berdasarkan data di TLTM, diketahui jenis kabel transformator distribusi yang digunakan adalah tipe NFA2X-T dengan ukuran 25 mm², jarak antara transformator dengan panel transformator $\pm$ yaitu: $l = 400 \text{ m}$, diketahui nilai resistansi kabel per kilometernya adalah 1,380 Ohm per km, sehingga besarnya hambatan netral $R_N = 1,380 \text{ Ohm/km} \times 0.4 \text{ km} = 0,552 \text{ Ohm}$ [6]

Pengukuran arus netral rata-rata diperoleh $I_N = \frac{1}{35} \sum_{i=1}^{35} I_{N(i)} = 29,07 \text{ Ampere}$, sehingga losses yang mengalir pada arus netral adalah:

$$PL_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{N(i)}^2 \cdot R_N$$

$$PL_N = 29,07^2 \times 0,552 = 0,467 \text{ kW}$$

$$PL_N = 0,467 \text{ kW}$$

III.6. Kajian Losses Pada Penghantar Grounding

Losses pada penghantar grounding dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$PL_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_{G(i)}^2 \cdot R_G \quad (\text{kW}) \dots \dots \dots (1.3)$$

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan grounding ini berkisar 1,2 Ohm untuk kondisi basah, 2,5 Ohm kondisi lembab, 4,6 kondisi kering. Pengukuran arus grounding rata-rata $I_G = \frac{1}{35} \sum_{i=1}^{35} I_{G(i)} = 1.47 \text{ Ampere}$, dan $R_G = 4,6 \text{ Ohm}$ sehingga losses akibat arus yang mengalir menuju grounding trafo adalah [6]:

$$PL_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_{G(i)}^2 \cdot R_G$$

$$PL_G = 1,47^2 \times 4,6 = 0,0099 \text{ kW}$$

$$PL_G = 0,0099 \text{ kW}$$

5.6. Biaya kerugian (Losses) akibat adanya arus netral dan arus grounding pada ketidakseimbangan beban

Biaya kerugian losses PL akibat adanya arus netral dan arus grounding tersebut adalah:

$$P_L = \left\{ \alpha \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{N(i)}^2 \cdot R_N + \alpha \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{G(i)}^2 \cdot R_G \right\} \dots \dots \dots (1.4)$$

α adalah nilai kerugian Rp/kWh = 2150,27. Biaya Rp 2150,27/kWh diperoleh berdasarkan biaya/harga solar area 1 Rp 7527,00/liter dan untuk 1 liter pemakaian solar 3.5 kWh atau 3.5 kWh/liter, sehingga biaya operasional pembangkit adalah Rp 2150,27, maka besar biaya kerugian akibat

Research Paper Vol 3, No 2, Tahun 2021

adanya arus netral dan arus grounding adalah ^[6]:

$$P_L = Rp \frac{2150,27}{kWh} \cdot \{(0,467 \text{ kW}) + (0,0099 \text{ kW})\}$$

$$P_L = \frac{Rp \ 1.004,18}{h} + \frac{Rp \ 21,28}{h}$$

$$P_L = Rp \ 1.025,46 \text{ per hour}$$

Biaya kerugian *losses* akibat ketidakseimbangan beban perjamnya adalah Rp 1.025,46. Suplai listrik ke beban (melalui trafo) beroperasi dari hari senin sampai dengan hari sabtu masing-masing 8 jam dan khusus untuk hari minggu 24 jam maka total waktu aliran listrik dalam satu minggu adalah 72 jam, dalam satu bulan = 288 jam dan dalam satu tahun 3456 jam, maka biaya kerugian *losses* listrik akibat ketidakseimbangan beban adalah Rp 1.025,46/h x 3.456 h/tahun = Rp 3.543.989,76 per tahun

5.7. Biaya kerugian (losses) pada masing-masing fasa

Biaya kerugian pada masing masing fasa adalah

$$P_{L,\emptyset} = \left\{ \alpha \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{R(i)}^2 \cdot R + \alpha \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{S(i)}^2 \cdot R + \alpha \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{T(i)}^2 \cdot R \right\} \dots \dots \dots (1.5)$$

$$P_{L,\emptyset} = \alpha \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{R(i)}^2 \cdot R + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{S(i)}^2 \cdot R + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{T(i)}^2 \cdot R \right\}$$

$$P_{L,\emptyset} = Rp \frac{2150,27}{kWh} \{ 2,06 \text{ kW} + 1,42 \text{ kW} + 2,56 \text{ kW} \} = Rp \ 12987,63 \text{ per hour}$$

Biaya kerugian *losses* pada penghantar 3 fasa perjamnya adalah Rp 12.987,63. Suplai listrik ke beban (melalui trafo) beroperasi dari hari senin sampai dengan hari sabtu masing-masing 8 jam dan khusus untuk hari minggu 24 jam maka total waktu aliran listrik dalam satu minggu adalah 72 jam, dalam satu bulan = 288 jam dan dalam satu tahun 3456 jam^[6]. Biaya kerugian *losses* listrik akibat ketidakseimbangan beban adalah Rp 12.987,63/h x 3.456 h/tahun = Rp 44.885.252,04 per tahun.

IV. KESIMPULAN

Losses pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan beban 0,37 kW, *Losses* pada penghantar grounding akibat ketidakseimbangan beban 0,0099 kW dan *Losses* karena adanya arus fasa yang mengalir pada penghantar fasa adalah 6,04 kW. Biaya kerugian *losses* karena adanya arus pada penghantar netral Rp 1004,12/h, biaya kerugian karena adanya arus penghantar grounding Rp 21,28/h, dan biaya *losses* listrik karena arus mengalir masing-masing fasa adalah Rp 12.987,63/h. Biaya kerugian total akibat

Research Paper Vol 3, No 2, Tahun 2021

adanya arus netral dan arus grounding Rp 3.543.989,76 per tahun dan Biaya kerugian akibat hambatan penghantar fasa pada keadaan ketidakseimbangan beban adalah Rp Rp 44.885.252,04 per tahun. Total biaya kerugian Rp 48.429.241,80 per tahun pada keadaan beban tidak seimbang

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PUIL (2011), *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [2]. Theraja, B.L., A.K (2005), *IA Textbook of Electrical Technology Volume I Basic Electrical Engineering*, Tarnekar, S.G (Ed). New Delhi: Ram Nagar.
- [3]. Rachmat, D, Mondamina, WM, Tamba,O, “ Perancangan Indikator Arus Netral dan Arus Grounding Pada Alternator 3 Fasa”, JVTI Vol 2 nomor 2, 2020
- [4]. Arghavani.H, Peyravi.M, (2017), “Unbalanced Current Based Tarrif”, paper 0129 CIRED 24th International Conference on Electricity Distribution, Glasgow
- [5]. Sogen, Dwiyanto, M., (2018), “*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Area Sorong*”, Volume 4 (No 1) Sorong: Politeknik Katolik Saint Paul Sorong.
- [6]. Felix, Rachmat, D, Mondamina, NW, “*Skenario Transposisi Sistem 3 Phase untuk Mengatasi Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Tanah Laut Mill*”, Kota Deltamas: Institut Teknologi Sains Bandung
- [7]. Akbar, Rizal (2018), “*Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, kWh, serta Estimasi Biaya Pemakaian Peralatan Listrik Rumah Tangga*”. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- [8]. Ashshiddiqi M.H, Sulo B.D, Minto B, ” *Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Rele Gangguan Tanah Pada PLN Transmisi APP Malang (Aplikasi GI Sengkaling)*”, (2019), Voloume 11, No 1 Science Elektro.
- [9]. Zuhal, (2005), “*Dasar Teknik Tenaga Listrik*” Erlangga, Bandung: ITB.