

ANALISIS AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN *LOSSES* DAYA PADA PENGHANTAR NETRAL GARDU INDUK KOTA BANGUN

Mohammad Syahrir Djalil¹, Suratno²

Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

^{1,2}Dosen Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

¹syahirdjalil@polnes.ac.id

Abstrak, Ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi sering dijumpai, hal ini diakibatkan adanya waktu penyalaan yang tidak serempak, penyambungan tiap phase tidak seimbang, dan terjadinya gangguan pada jaringan. Akibat dari ketidakseimbangan beban akan muncul adanya arus netral. Besar arus netral ini tergantung seberapa besar ketidakseimbangan beban dari ketiga phase. Arus yang mengalir pada penghantar netral ini menyebabkan adanya *losses* daya. Pada Gardu Induk Kota Bangun ketidakseimbangan terjadi akibat adanya gangguan yang berasal dari arus gangguan 1 phase ke tanah, maupun 3 phase ke tanah. Penghitungan besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi akibat adanya gangguan pada saluran Gardu Induk Kota Bangun diperoleh nilai tertinggi pada tanggal 24 Maret 2020 sebesar 128,3540802% dan nilai terendah pada tanggal 1 Maret 2020 sebesar 57,09570957%. Penghitungan besarnya nilai *losses* daya akibat adanya arus netral yang berasal dari ketidakseimbangan beban diperoleh nilai tertinggi pada gangguan di tanggal 19 Februari 2020 sebesar 4325,724 Watt dan nilai terendah pada tanggal 3 Februari 2020 sebesar 61,936 Watt. Dari hasil penelitian yang dilakukan, hasil yang didapatkan melebihi standar ketidakseimbangan arus menurut IET. Dengan hasil yang didapatkan melebihi dari 30% ketidakseimbangan arus.

Kata Kunci : Ketidakseimbangan, Arus netral, *Losses* daya

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan, maka dituntut agar sarana dan prasarana yang mendukung seperti tenaga listrik. Saat ini kebutuhan tenaga listrik merupakan kebutuhan primer, baik untuk kebutuhan industri maupun kebutuhan sehari-hari. Hal ini listrik mudah untuk ditransformasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Ketersediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Pusat-pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini dapat mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Rugi – rugi daya merupakan salah satu kerugian yang dapat timbul dari penyaluran. Rugi daya sendiri merupakan suatu keadaan ketika hilangnya energi yang dibangkitkan sehingga

mengurangi jumlah energi yang dijual kepada konsumen sehingga berpengaruh pada profitabilitas perusahaan.

Dalam penyaluran tenaga listrik sering juga dijumpai keadaan di mana terjadi ketidakseimbangan. Ketidakseimbangan beban ini disebabkan karena dalam waktu penyalaan beban yang tidak serempak, penyambungan yang tidak seimbang pada tiap *phase* (R,S,dan T), pemasangan beban yang tidak seimbang pada tiap *phase* nya, dan terjadinya gangguan yang dapat mengakibatkan ketidakseimbangan itu sendiri.

Ketidakeimbangan beban ini dapat berakibat pada munculnya arus netral. Arus netral merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga *phase* empat kawat. Munculnya arus netral dapat menyebabkan rugi – rugi dalam penyaluran.

Dalam penelitian ini adapun tujuan yang ingin dicapai ialah, mengetahui nilai persentase ketidakseimbangan arus beban pada Gardu Induk Kota Bangun, mengetahui nilai besar *losses* daya akibat adanya arus netral pada saat ketidakseimbangan, mengetahui akibat dari ketidakseimbangan arus beban sehingga munculnya arus netral, dan mengetahui solusi agar meminimalisir gangguan ketidakseimbangan.

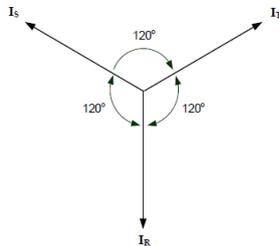
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Ketidakseimbangan Beban

Pembebanan dikatakan seimbang ketika memiliki keadaan dimana; ketiga vector arus ataupun tegangan sama besarnya,dan ketiga vector saling membentuk sudut 120^0 satu sama lain, ini bisa dilihat pada Gambar 1 Sedangkan yang dimaksud keadaan tidak seimbang adalah ketika tidak memenuhi satu atau kedua syarat keadaan tersebut bisa dikatakan seimbang, seperti pada Gambar 2. Standart ketidakseimbangan arus menurut IET (*The Institution of Engineering and Technology*) tidak lebih dari 30% [1]. Terdapat tiga kemungkinan keadaan tidak seimbang, yaitu [2]:

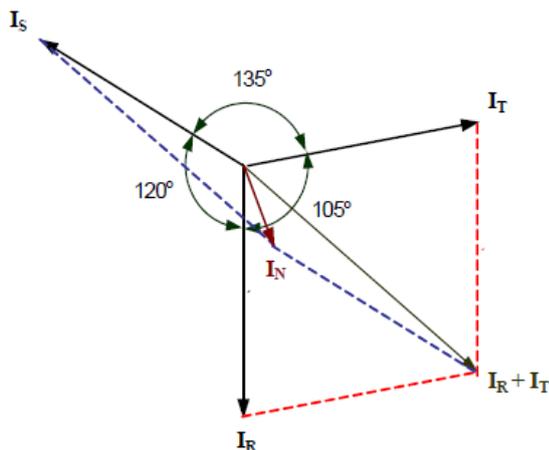
- Ketiga vector sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.

- Ketiga vector tidak sama besar namun membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vector tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° .



Gambar 1. Vektor diagram arus keadaan seimbang. [3]

Dari Gambar 1 menunjukkan vector diagram dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa perjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak munculnya arus netral.



Gambar 2. Vektor diagram arus keadaan tidak seimbang. [3]

Dari Gambar 2 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Dapat dilihat bahwa perjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga memicu adanya arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar vektor ketidakseimbangannya.

B. Penyaluran Daya Listrik

Pada keadaan seimbang, daya yang disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Ketika dalam keadaan seimbang maka besarnya daya dapat dinyatakan [4] :

$$P_{total} = 3 \times V_p \times I_p \times \cos \phi \tag{1}$$

Keterangan:

P_{total} = Daya total (Watt)

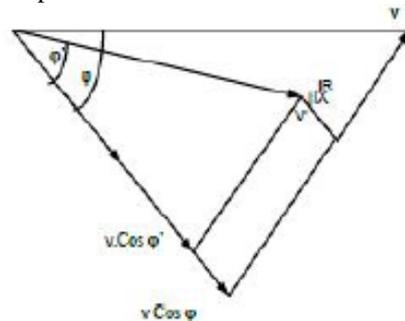
V_p = Tegangan phase(Volt)

I_p = Arus phase (Ampere)

Untuk mengetahui persentase pembebanan maka digunakan rumus :

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{puncak}} \times 100\% \tag{2}$$

Daya yang sampai pada ujung saluran akan lebih kecil karena terjadi penyusutan dalam saluran. Hal ini dapat diterangkan pada diagram fasor tegangan saluran model satu phase seperti pada Gambar 3..



Gambar 3. Diagram fasor tegangan saluran daya model 1 phase. [4]

Dari Gambar 3 dapat diasumsikan arus bermuatan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan begitu arus diujung saluran sama dengan arus pada awal saluran. Jika pada keadaan seimbang dinyatakan dengan persamaan (2.1), maka pada penyaluran daya yang sama dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus-arus phase dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut [5]:

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

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \end{aligned} \tag{4}$$

$$[I_T] = c [I]$$

Dengan I_R, I_S , dan I_T adalah arus phase R, S, dan T.

Bila vektor daya di ketiga phase dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besar daya yang disalurkan bisa dinyatakan sebagai berikut

$$P = (a + b + c) \times V \times I \times \cos \phi \tag{5}$$

Apabila persamaan (1) dan persamaan (4) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \tag{6}$$

Dimana keadaan seimbang, nilai

$$a = b = c = 1 \tag{7}$$

Dengan demikian, untuk menentukan persentase ketidakseimbangan beban rata-rata dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Persentase rata-rata} = \frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100\% \tag{9}$$

C. Kerugian Daya

Arus yang mengalir melalui tahanan, akan menyebabkan panas atau akan merubah energi listrik menjadi energi kalor. Besarnya rugi-rugi daya listrik pada penghantar netral dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \tag{10}$$

Keterangan :

- P_N = rugi-rugi daya listrik pada penghantar netral
- I_N = arus pada penghantar netral.
- R_N = tahanan pengantar netral.

Sementara untuk mengetahui persentase *losses* daya yang hilang dari sebelum ($P_{sebelum}$) dan setelah terjadi gangguan menggunakan persamaan berikut :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P_{sebelum}} \times 100\% \tag{11}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan serta pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2020 sampai dengan bulan Juni 2020 di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kota Bangun dan Gardu Induk (GI) Kota Bangun Jl. M.Sidik No.50 Rt 17 Kota Bangun Ulu, Kota Bangun, Kecamatan Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Objek penelitian ini adalah *ketidakseimbangan beban* pada semua penyulang pada Gardu Induk Kota Bangun.

B. Jenis dan Sumber Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data yang berfokus pada saluran distribusi 20 kV. Adapun data tersebut meliputi :

1. Single Line Diagram Gardu Induk Kota Bangun
2. Spesifikasi penyulang 20 kV
3. Data pengukuran beban puncak
4. Data gangguan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer. Data primer adalah data yang dikumpulkan dan diolah sendiri oleh peneliti langsung dari PT. PLN (Persero) ULP Kota Bangun dan Gardu Induk Kota Bangun pada kondisi saat ini dan yang telah lampau.

C. Teknik Pengumpulan Data

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data pada saat penelitian, antara lain :

1. Metode wawancara dan diskusi, metode seperti ini dilakukan dengan memperoleh data berdasarkan hasil wawancara lapangan dengan supervisor, pembimbing lapangan, serta rekan kerja yang lain.
2. Metode studi literatur, yaitu pengumpulan data dengan cara membaca sumber-sumber lain baik dari buku-buku maupun sumber terpercaya lainnya dari buku yang berhubungan dengan pekerjaan serta perolehan data.

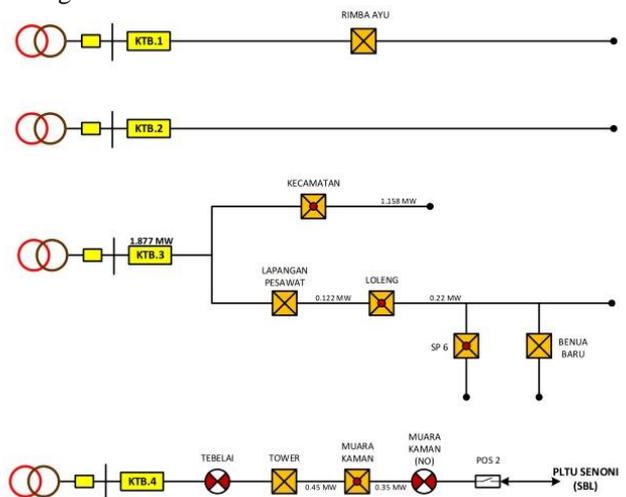
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum

Pada bab ini, penulis akan menganalisis ketidakseimbangan beban pada Gardu Induk Kota Bangun dan *losses* daya akibat adanya arus netral pada saat gangguan. Gardu Induk Kota Bangun merupakan *sub* jaringan yang terhubung dengan Sistem Mahakam. Pada Gardu Induk Kota Bangun terdapat 1 buah trafo daya yang bias di suplai sebesar 30 MW yang terbagi menjadi 4 feeder yaitu :

1. Kota Bangun 1 (KTB 1)
2. Kota Bangun 2 (KTB 2)
3. Kota Bangun 3 (KTB 3)
4. Kota Bangun 4 (KTB 4)

Pada Gambar 4 merupakan *single line* diagram Gardu Induk Kota Bangun.



Gambar 4. Single Line Diagram Gardu Induk Kota Bangun.

B. Ketidakseimbangan Beban

Diketahui :

Gangguan pada tanggal 1 Januari 2020 yang terjadi pada feeder KTB 4 dengan indikator relay 51N.

Tabel 1.
Data gangguan 1 Januari 2020

V (kV)	I _{Puncak}	I (A)				P (kW)	
		R	S	T	N	Sebelum	Sesudah
21	38 A	25	132	30	108	1007	363

Pada penghantar netral menggunakan kabel N2XSEFGbY dengan luas penampang 300mm² yang mempunyai tahanan jenis 0,079 Ω.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{25 + 132 + 30}{3} = 62,33 \text{ Ampere}$$

Persentase pembebanan pada saat terjadi gangguan,

$$\begin{aligned} \text{Persentase pembebanan} &= \frac{I_{rata-rata}}{I_{puncak}} \times 100\% \\ &= \frac{62,33}{38} \times 100\% \\ &= 164,03\% \end{aligned}$$

Dari penghitungan diatas terlihat beban pada saat gangguan dengan dibandingkan pada saat beban puncak didapatkan persentase pembebanan sebesar 164,03% dari beban puncak.

Untuk ketidakseimbangan, dengan menggunakan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya. Dimana besarnya arus pada saat seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata.

$$I_R = a, \quad a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{25}{62,33} = 0,401$$

$$I_S = b, \quad b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{132}{62,33} = 2,117$$

$$I_T = c, \quad c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{30}{62,33} = 0,481$$

Pada keadaan seimbang, besar nilai pada koefisien a, b, dan c adalah 1. Dengan demikian maka besar persentase rata-rata ketidakseimbangan adalah sebagai berikut,

$$\text{Persentase rata-rata} = \frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{(|0,401-1|+|2,117-1|+|0,481-1|)}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,599+1,117+0,519}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{2,235}{3} \times 100\%$$

$$= 74,51 \%$$

Sama dengan penghitungan diatas maka dari data didapatkan hasil ketidakseimbangan adalah sebagai berikut :

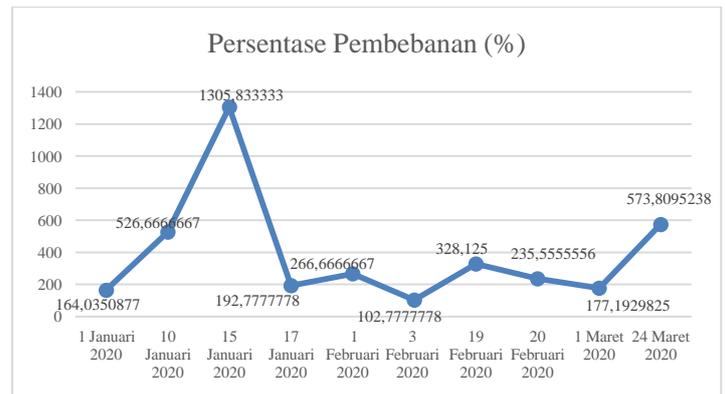
Tabel 2.

Hasil penghitungan ketidakseimbangan

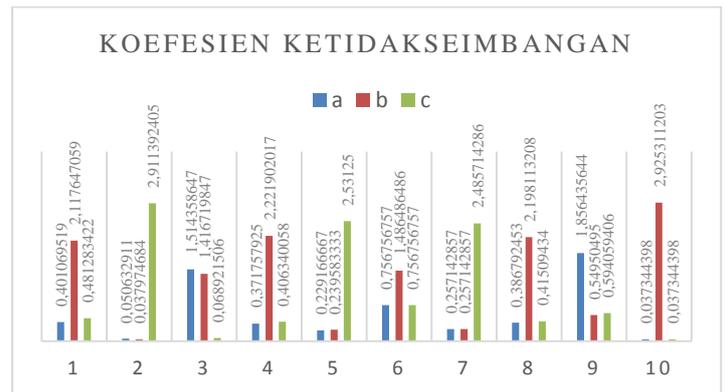
Tanggal	Persentase Pembebanan (%)	Rata-rata Keseimbangan (%)
1 Januari 2020	164.0350877	74.50980392
10 Januari 2020	526.6666667	127.4261603
15 Januari 2020	1305.8333333	62.0718996
17 Januari 2020	192.7777778	81.46013449
1 Februari 2020	266.6666667	102.0833333
3 Februari 2020	102.7777778	32.43243243
19 Februari 2020	328.125	99.04761905
20 Februari 2020	235.5555556	79.87421384
1 Maret 2020	177.1929825	57.09570957
24 Maret 2020	573.8095238	128.3540802

Pada Gambar 5 merupakan persentase pembebanan. Berdasarkan dari data gangguan didapatkan persentase pembebanan pada tiap gangguan yang terjadi, dengan membandingkan nilai rata-rata arus gangguan dengan nilai arus puncak pada saat terjadi gangguan (siang atau malam).

Sedangkan dalam Gambar 6 merupakan nilai koefisien dari arus yang mengalir pada phase R, S, dan T dengan dibandingkan dari nilai rata-rata dari ketiga phase tersebut. Dimana bila keadaan seimbangan maka nilai koefisiennya adalah 1.

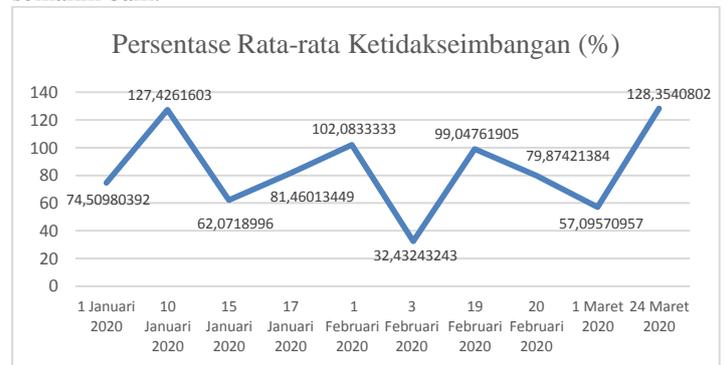


Gambar 5. Persentase pembebanan .



Gambar 6. Koefisien ketidakseimbangan

Pada Gambar 7 merupakan besar nilai ketidakseimbangan dalam persen. Dimana nilainya berasal dari perjumlahan ketiga koefisien a, b, dan c dengan dibagi banyaknya koefisien. Dari gambar diatas dapat dilihat nilai persentase yang melebihi dari 100% jadi 3 kali, sedangkan untuk persentase tertinggi terjadi pada gangguan pada tanggal 15 Januari 2020 dengan nilai 127,4261603% sedangkan nilai persentase terendah terjadi pada tanggal 3 Februari 2020 dengan nilai 32,43243243%. Nilai persentase yang besar maka menandakan nilai ketidakseimbangan pada tiap phase yang terjadi sangat jauh, sedangkan untuk nilai persentase yang kecil maka nilai keseimbangannya tiap phase nya semakin baik.



Gambar 7. Persentase rata-rata ketidakseimbangan.

C. Losses Daya Akibat Adanya Arus Netral

Dengan menggunakan persamaan (10) dapat dihitung adanya daya yang hilang pada penghantar netral sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = 108^2 \times 0,079 = 921,546 \text{ Watt} \approx 0,921 \text{ kW}$$

Dengan membandingkan pada beban sebelum terjadinya gangguan maka, persentase *losses* akibat adanya arus netral adalah :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,921}{1007} \times 100\% = 0,0915\%$$

Jadi dengan adanya arus netral yang mengalir pada gangguan ketidakseimbangan diatas dapat berakibat adanya *losses* daya sebesar 0,0915% dari beban sebelum adanya gangguan.

Tabel 3. Hasil penghitungan *losses* daya

Tanggal	Losses Daya Pada I_N (Watt)	Persentase Losses Daya (%)
1 Januari 2020	921.456	0.091505065
10 Januari 2020	4106.736	1.11596087
15 Januari 2020	108.151	0.008728894
17 Januari 2020	3550.576	0.23420686
1 Februari 2020	3928.591	0.465472867
3 Februari 2020	61.936	0.006595953
19 Februari 2020	4325.724	0.407318644
20 Februari 2020	2881.999	0.19124081
1 Maret 2020	597.951	0.045162462
24 Maret 2020	4288.831	4.246367327

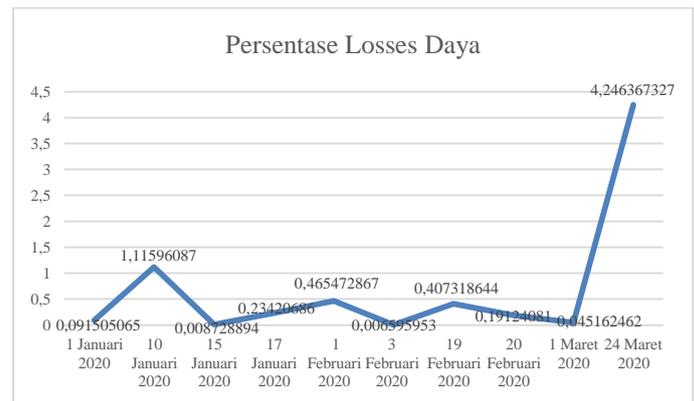
Munculnya arus netral ini akibat adanya gangguan yang berakibat ketidakseimbangan pada tiap *phase* nya. Dimana nilai arus pada *phase* N tergantung berapa besar nilai ketidakseimbangan itu pada tiap *phase* nya.



Gambar 8. Losses daya di penghantar netral.

Pada Gambar 8 merupakan hasil dari penghitungan pada Tabel 3 dimana terlihat grafik yang menunjukkan nilai dari *losses* daya akibat adanya arus netral. Dari gambar grafik diatas hanya ada 3 (tiga) yang besar *losses* dayanya kurang dari 1 kW, pada tanggal 3 Februari 2020 merupakan data dengan nilai terkecil dengan besar *losses* daya 61,936 Watt. Sedangkan yang lainnya berada di nilai lebih dari 1 kW, dengan nilai tertinggi pada tanggal 19 Februari 2020 sebesar 4325,724 Watt. Besarnya nilai pada *losses* daya ini

berbanding lurus dengan dengan besarnya nilai pada arus yang mengalir pada penghantar N (netral).



Gambar 9. Persentase losses daya di penghantar netral.

Pada Gambar 9 nilai persentase tertinggi terjadi pada tanggal 24 Maret 2020 dengan skala 4,246367327% sedangkan nilai terendah pada skala 0,006595953% di tanggal 3 Februari 2020. Nilai persentase ini merupakan nilai perbandingan antara nilai *losses* daya yang hilang dan nilai dari daya sebelum terjadi gangguan. Nilai pada saat sebelum terjadi gangguan akan selalu lebih besar dibandingkan sebelum terjadi gangguan, ini karena ketika terjadi gangguan akan ada beban yang terputus sehingga daya yang sampai ke pelanggan hilang atau tidak tersalurkan.

D. Pembuktian Ketidakseimbangan Dengan Vektor Sudut

Berdasarkan pada Tabel 1 dapat dibuktikan ketidakseimbangannya dengan menggunakan rumus keseimbangan dimana,

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

Sebelum menghitung dengan persamaan diatas, dilakukan penghitungan untuk menentukan sudut tiap *phase*. Dalam perhitungan ini daya tiap *phase* diasumsikan sama.

- Phase R

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

$$363 = 21 \times 25 \times \text{Cos}\phi$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{363}{525}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,69143$$

$$\phi = \text{Cos}^{-1}(0,69143)$$

$$\phi = 46,25^\circ$$

- Phase S

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

$$363 = 21 \times 132 \times \text{Cos}\phi$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{363}{2772}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,13095$$

$$\phi = \text{Cos}^{-1}(0,13095)$$

$$\phi = 82,47^\circ$$

• Phase T

$$P = V \times I \times \text{Cos}\varphi$$

$$363 = 21 \times 30 \times \text{Cos}\varphi$$

$$\text{Cos}\varphi = \frac{363}{630}$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,57619$$

$$\varphi = \text{Cos}^{-1}(0,57619)$$

$$\varphi = 54,81^\circ$$

Setelah didapatkan nilai besar sudut tiap *phase*, maka dicari besar nilai I_N sebagai berikut,

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T$$

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R \angle (0 + \varphi_R)^\circ + \vec{I}_S \angle (120 + \varphi_S)^\circ + \vec{I}_T \angle (240 + \varphi_T)^\circ$$

$$\vec{I}_N = 25 \angle (0 + 46,25)^\circ + 132 \angle (120 + 82,47)^\circ + 30 \angle (240 + 54,81)^\circ$$

$$\vec{I}_N = 25 \angle 46,25^\circ + 132 \angle 202,47^\circ + 30 \angle 294,81^\circ$$

$$\vec{I}_N = 25(\text{cos}46,25 + j\text{sin}46,25) + 132(\text{cos}202,47 + j\text{sin}202,47) + 30(\text{cos}294,81 + j\text{sin}294,81)$$

$$\vec{I}_N = 17,288 + j18,059 + (-121,978) + (-j50,45) + 12,588 + (-j27,231)$$

$$\vec{I}_N = -92,102 + j59,622$$

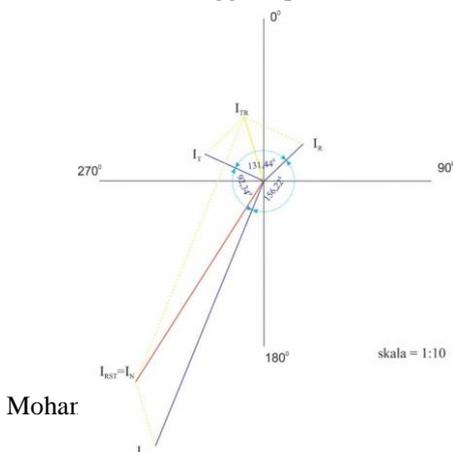
$$\vec{I}_N = 109.715 \angle -32,91^\circ \text{ Ampere}$$

Dengan rumus diatas dapat ditarik bahwa nilai I_N sebesar 109,715 Ampere sedangkan pada alat ukur di PLN pada saat terjadi gangguan di dapatkan nilai sebesar 108 A, Sementara untuk vektor ketidakseimbangan seperti pada Gambar 10.

Tabel 4.
Hasil Pembuktian Penghitungan I_N

Tanggal	Sudut			I_N	
	R	S	T	Penghitungan	Alat Ukur
1 Januari 2020	46.256	82.475	54.817	109.716	108
10 Januari 2020	53.470	37.472	89.407	227.471	228
15 Januari 2020	87.595	87.429	22.786	752.137	37
17 Januari 2020	56.606	74.965	65.264	209.136	212
1 Februari 2020	15.591	28.616	79.762	233.092	223
3 Februari 2020	77.626	51.816	77.626	32.191	28
19 Februari 2020	48.595	48.595	80.104	238.399	234
20 Februari 2020	88.868	79.663	18.155	241.441	191
1 Maret 2020	62.182	54.790	62.720	91.105	87
24 Maret 2020	50.586	89.535	50.586	232.674	233

Pada penghitungan pembuktian ketidakseimbangan yang telah dilakukan seperti terdapat pada Tabel 4 membuktikan ketidakseimbangan yang terjadi benar adanya dengan bukti seperti pada Gambar 10. Besar sudut perpindahan tidak memenuhi syarat keseimbangan yaitu tiap *phase* tidak sebesar 120° , sehingga dapat dikatakan tidak seimbang pada



saat terjadi gangguan tersebut.

Gambar 10. Pembuktian dengan vektor sudut.

Dari hasil penghitungan dan membandingkan dengan hasil pembacaan alat, seperti yang terlihat pada Tabel 4 terdapat perbedaan yang sangat jauh pada saat terjadi gangguan di tanggal 15 Januari dan 20 Februari 2020. Hal ini bisa saja terjadi akibat gangguan yang menyebabkan kegagalan sistem sensor tersebut membaca arus gangguan yang terjadi, ataupun terjadi *human eror* pada saat pencatatan data. Sementara untuk yang lainnya tidak terlalu jauh perbedaan antara penghitungan dengan pembacaan pada alat, dengan begitu sama seperti bunyi hukum *kirchhoff* I yaitu arus total yang masuk melalui suatu titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik sama dengan arus total yang keluar dari titik percabangan tersebut.

V. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penghitungan dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Penghitungan besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi akibat adanya gangguan pada saluran Gardu Induk Kota Bangun diperoleh nilai tertinggi pada tanggal 24 Maret 2020 sebesar 128,3540802 % dan nilai terendah pada tanggal 1 Maret 2020 sebesar 57,09570957 %.
2. Penghitungan besarnya nilai *losses* daya akibat adanya arus netral yang berasal dari ketidakseimbangan beban diperoleh nilai tertinggi pada gangguan di tanggal 19 Februari 2020 sebesar 4325,724 Watt dan nilai terendah pada tanggal 3 Februari 2020 sebesar 61,936 Watt.
3. Penghitungan pembuktian ketidakseimbangan beban dengan menggunakan sudut vektor tiap fasanya diperoleh antara nilai I_N pada alat ukur dan penghitungan terdapat perbedaan yang terjadi pada gangguan di tanggal 15 Januari 2020 dengan nilai I_N pada alat ukur 37 A sedangkan pada penghitungan diperoleh 752,1372 A. Dari penghitungan ini hanya menganalisis pada harga mutlak dari arus netral yang menyebabkan *losses* daya akibat adanya ketidakseimbangan beban.
4. Dari hasil penelitian yang dilakukan, hasil yang didapatkan melebihi standar ketidakseimbangan arus menurut IET. Dengan hasil yang didapatkan melebihi dari 30% ketidakseimbangan arus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Arghavani dan M. Peyravi, "Unbalanced current-based tariff," *24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)*, vol. 2017, no. 1, pp. 883 - 887, 2017.
- [2] D. W. Stevenson JR, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994.
- [3] S. Hartono, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder Senggiring I Di PT. PLN (Persero) Area Singkawang," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 1, 2019.
- [4] Y. Simamora dan P. S. Tobing, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 7, no. 3, 2014.
- [5] M. D. T. Sogen, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi DI PT PLN (Persero) Area Sorong," *Jurnal Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, 2018.