

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA GEDUNG F3 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Fatkhurrohman

Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Email: fat.rohman21@gmail.com

Abstrak

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi terjadi karena perbedaan arus yang mengalir pada masing – masing fasa (R, S dan T) hal ini dikarenakan jumlah dan waktu pemakaian beban satu fasa yang berbeda- beda. Ketidakseimbangan beban akan menyebabkan munculnya arus pada kabel netral. Arus yang mengalir pada kabel netral mengakibatkan rugi - rugi daya (Losses) arus netral. Pada penelitian ini dilakukan pada bangunan F3 di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk mengetahui berapa arus netral yang mengalir, rugi – rugi daya yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban serta mengetahui nilai keseimbangan beban yang terpasang apakah sudah sesuai dengan standar IEEE 446 - 1995. Pengukuran menggunakan alat yaitu Power Quality and Energy Analyze METREL MI 2892. Hasil pengamatan dan pengukuran yang telah dilakukan terhadap panel MDP di bangunan F3 nilai persentase ketidakseimbangan beban pada hari libur adalah 8,3% (WLBP) dan 13%(WBP) sedangkan untuk dari padat kerja nilai nilai persentase ketidakseimbangan beban adalah 15% (WLBP) dan 21,2%(WBP). Losses akibat adanya arus netral yang timbul karena ketidakseimbangan beban yaitu sebesar 489,37 KWh pertahun atau secara ekonomi sebesar Rp. Rp.497.793

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan sumber tenaga yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia pada saat ini. Hampir semua peralatan dengan teknologi yang semakin berkembang membutuhkan energi listrik, sehingga energi listrik menjadi kebutuhan primer atau pokok. Energi listrik itu sendiri digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik diperlukan sistem yang baik untuk menyalurkan energi listrik dari penyedia sampai kekonsumen energi listrik. Secara umum sistem tenaga listrik diawali dari unit pembangkit energi listrik, kemudian disalurkan melalui sistem transmisi tegangan tinggi dan kemudian melalui sistem distribusi disalurkan kepada konsumen.

Energi Listrik merupakan salah satu kontributor besar terhadap biaya operasional yang harus dikeluarkan. Peranan listrik ini

menjadi semakin penting mengingat adanya kenaikan tarif dasar listrik yang mau tak mau memaksa berbagai pihak berlomba-lomba untuk melakukan penghematan, termasuk Gedung F3 universitas muhammadiyah yogyakarta, manajemen energi merupakan sarana yang tepat untuk diaplikasikan dalam program penghematan tersebut.

Listrik dikategorikan baik bila penyediaan tenaga listriknya dilakukan dengan baik juga seimbang. Tenaga listrik dikatakan seimbang apabila beban pada tiap-tiap fasa yang disalurkan (fasa R, fasa S, dan fasa T) besarnya sama. Bila salah satu fasa terdapat keadaan atau nilai beban yang berbeda dengan fasa yang lain, maka jalur distribusi tersebut mengalami ketidakseimbangan beban. Hal ini dapat merugikan penyedia tenaga listrik. Ketidakseimbangan sistem tiga fasa adalah topik yang tidak asing lagi bagi peneliti dan teknisi sistem tenaga listrik. Hal ini dapat menimbulkan adanya rugi-rugi daya pada

jaringan distribusi pada keadaan yang sebenarnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui berapa besarnya rugi-rugi (*losses*) pada jaringan distribusi di gedung F3 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang disebabkan oleh ketidakseimbangan pembebanan pada tiap fasannya.
2. Untuk mengetahui berapa kerugian finansial yang dialami Universitas Muhammadiyah Yogyakarta karena rugi-rugi daya yang disebabkan ketidakseimbangan beban.
3. Untuk mengetahui apakah nilai persentase ketidakseimbangan beban pada Gedung F3 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sesuai dengan batas standar *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) 466 – 1995*.
4. Memberi solusi berapa nilai beban fasa yang dipindahkan agar beban fasa menjadi seimbang.

2. Dasar Teori

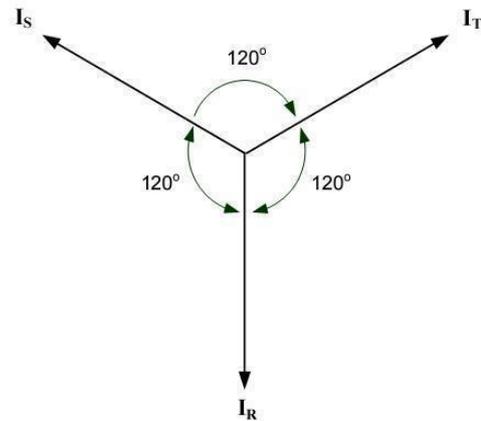
2.1 Pengertian ketidakseimbangan beban

Ketidakseimbangan beban merupakan besarnya ketidakseimbangan arus yang mengalir antara tiap fasa dan menyebabkan mengalirnya arus pada titik netral. Dimana arus netral ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara titik netral dengan *ground* (*ground* efektif memiliki nilai nol). Dampak yang diperoleh dari mengalirnya arus pada titik netral adalah tidak terpenuhinya *reference* tegangan pada titik netral, yang mengakibatkan tegangan fasa ke netral menurun.

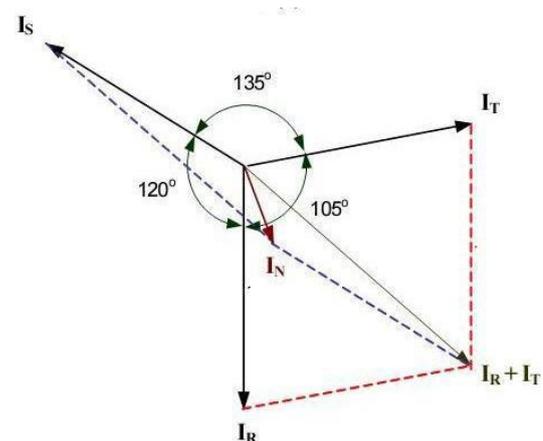
Kemungkinan ketidakseimbangan beban ada tiga yaitu:

1. Masing-masing vektor seimbang namun tidak membentuk sudut 120 satu sama lain.

2. Masing-masing vektor tidak seimbang namun membentuk sudut 120 satu sama lain.
3. Masing-masing vektor tidak seimbang dan tidak membentuk sudut 120 satu sama lain.



Gambar 1. Vektor keseimbangan beban



Gambar 2. Vektor ketidakkeseimbangan beban

Pada saat keadaan seimbang, penjumlahan vektor arus (I_R, I_S, I_T) pada adalah sama dengan nol. Namun pada keadaan seimbang terdapat arus netral (I_N) yang mengakibatkan penjumlahan ketiga vektor tersebut tidak sama dengan nol. Nilai arus netral bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.2 Standar IEEE 446 – 1995 Power Quality

Untuk membandingkan kondisi kualitas daya dengan data hasil pengukuran dari power quality yaitu menggunakan parameter sebagai berikut:

Tabel 1. Standar *IEEE 446 – 1995 Power Quality*

No.	Parameter	Maksimum
1.	Regulasi tegangan dalam keadaan baik.	+5, -15% (ANSI C84.1-1970) adalah +6, -13%
2.	Gangguan tegangan drop sementara tegangan transien.	-25% s/d -30% tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20 ms +150 s/d 200% tidak lebih 0,2 ms
3.	Distorsi Tegangan Harmonil (THD)	3 – 5 % (Beban Linier)
4.	Noise	Tidak ada stardar
5.	Variasi Frekuensi	50 Hz $\bar{\pm}$ 0,5 Hz – 1 Hz
6.	Perubahan Frekuensi	Sekitar 1 Hz
7.	Ketidakseimbangan Beban	5 s/d 20% maksimal pada setiap fasa
8.	Ketidakseimbangan tegangan	2,5 – 5%
9.	Faktor Daya	0,81 – 0,9
10.	Kapasitas Beban	0,75 s/d 0,85 (Beban terpasang)

2.3 Akibat Ketidakseimbangan Beban

Adanya arus netral mengakibatkan pembebanan yang tidak seimbang dan menimbulkan rugi-rugi daya (*power losses*). *Losses* pada penghantar netral ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

P_N = losses pada penghantar netral (W)

I_N = Arus yang mengalir pada netral (A)

R_N = Tahanan penghantar netral (ohm)

2.4 Menentukan Besaran Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata\ rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$IR = a \times I_{rata\ rata} \quad \text{maka : } a = \frac{IR}{I_{rata\ rata}}$$

$$IS = b \times I_{rata\ rata} \quad \text{maka : } b = \frac{IS}{I_{rata\ rata}}$$

$$IT = c \times I_{rata\ rata} \quad \text{maka : } c = \frac{IT}{I_{rata\ rata}}$$

$I_{rata\ rata}$ = arus rata - rata ketiga fasa (A)

IR = arus fasa R (A)

IS = arus fasa S (A)

IT = Arus Fasa T (A)

Dalam kondisi beban seimbang, besar nilai koefisiensi a, b, dan c diasumsikan sama dengan 1. Jadi rata-rata ketidakseimbangan beban (%) dapat diketahui dengan persamaan :
Ketidakseimbangan

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

2.5 Keseimbangan Beban 3 Fasa

Keseimbangan beban pada jaringan 3 fasa dapat terjadi apabila mempunyai beban yang sama. Untuk mencari titik keseimbangan pada jaringan tiga fasa dapat menggunakan rumus matematika linear yaitu nilai mean dengan rumus :

$$XY = (X_1 + X_2 + X_3 + X_n)/n$$

X_Y = Arus rata – rata (A)

X = Arus masing – masing fasa (A)

n = Jumlah fasa

Dari perhitungan tersebut akan diperoleh nilai yang harus dipindah atau diterima pada tiap fasa dengan menghitung :

$I_R - \sum X = I_{lepas/terima}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa R)

$I_S - \sum X = I_{lepas/terima}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa S)

$I_T - \sum X = I_{lepas/terima}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa T)

Apabila terdapat fasa yang hasil $I_{lepas/terima}$ sangat besar berarti fasa tersebut harus melepas beban sebanyak $I_{lepas/terima}$ tersebut, sedangkan pada fasa yang hasilnya lebih sedikit atau bahkan minus (-) berarti fasa tersebut menerima beban dari fasa yang hasil $I_{lepas/terima}$ paling besar.

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan di sebuah gedung di salah satu kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Dimana penelitian ini dilakukan di Gedung F3 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan sebuah alat yaitu *Power Quality Analyzer*. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur frekuensi, tegangan, arus, daya semu, daya aktif, daya reaktif, harmonisa dan faktor daya.



Gambar 3. Metrel MI 2892

4. Hasil Penelitian

4.1 Sistem Kelistrikan di Gedung F3 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Tabel 2. Spesifikasi Trsfomator

Brand	TRAFINDO
Number of Fhasa	3
Rated Frekuensi	50 Hz
Rated Capacity	1250 kVA
Rated Voltage (HV)	20 KV
Rated Voltage (LV)	400 V
Rated Current (HV)	36,08 A

Rated Current (LV)	1804.22
Short Circuit Impedance	5,5 %
Insulation Class	A
Serial Number	161300237
Year of Manufacture	2016
Standar	IEC 60076
Type of Cooling	ONAN
Vector Grup	Ynyn0
Weight of Oil	860 Kg
Total of Transformer Weigh	3460 Kg

4.2 Menentukan *fuse cut of*, *NH Fuse* dan Arus hubung singkat

Untuk menentukan besarnya fuse cut maka terlebih dahulu kita menghitung besarnya arus jala – jala dengan menggunakan persamaan

$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$ dan berdasarkan data pada data tabel 4.1 adalah sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$1250 \text{ kVA} = \sqrt{3} \cdot 20 \text{ KV} \cdot I$$

$$I = \frac{1250 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ KV}}$$

$$= 36,084 \text{ A}$$

Fuse Cut Of yang dipilih sesuai SPLN adalah *Link Type* dengan rating 36,08 A

Untuk menentukan besarnya *NH Fuse* maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*) dengan menggunakan persamaan $IFL = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$ dan berdasarkan pada data tabel 4.1 adalah sebagai berikut:

$$IFL = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$IFL = \frac{1250 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$IFL = 1804,219 \text{ A}$$

NH Fuse yang dipilih sesuai SPLN adalah dengan rating 1804,22 A Untuk jurusan utama atau (*incoming*).

Besar arus hubung singkat (short circuit) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $I_{sc} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \sqrt{3} V}$ dan berdasarkan data pada tabel 4.1 adalah sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \sqrt{3} V}$$

$$I_{sc} = \frac{1250 \text{ KVA} \cdot 100}{5,5 \sqrt{3} 400 \text{ V}}$$

$$I_{sc} = 32.804 \text{ A}$$

4.3 Data Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran didapat data harmonisa sebagai berikut ini :

Tabel 3. Arus tanggal 24 maret 2019

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:00:00	86,62	82,71	99,00	19,78
0:30:00	77,72	81,77	100,40	19,88
1:00:00	89,02	58,83	102,94	22,06
1:30:00	90,98	60,63	101,15	20,07
2:00:00	95,83	74,32	104,70	20,04
2:30:00	81,88	80,86	97,70	19,04
3:00:00	80,02	61,32	100,30	20,38
3:30:00	78,97	61,89	100,04	20,20
4:00:00	90,52	70,36	108,00	18,85
4:30:00	83,97	70,69	93,16	18,88
5:00:00	90,06	74,13	107,53	19,94
5:30:00	83,63	71,29	97,91	21,16
6:00:00	76,80	77,54	101,09	23,12
6:30:00	74,07	74,42	89,04	20,54
7:00:00	66,08	74,03	80,36	22,48
7:30:00	65,73	79,49	84,05	25,04
8:00:00	70,33	78,12	91,19	25,33
8:30:00	83,01	63,28	97,64	18,66
9:00:00	108,46	126,24	109,14	34,86
9:30:00	112,05	102,11	107,57	24,37
10:00:00	114,70	100,73	120,44	22,38
10:30:00	111,24	103,63	113,68	25,16
11:00:00	114,60	103,99	109,43	23,27

Tabel 4. Arus tanggal 24 maret 2019 (lanjutan)

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
11:00:00	114,60	103,99	109,43	23,27
11:30:00	83,16	81,83	86,51	21,03
12:00:00	88,47	86,03	106,68	22,10
12:30:00	77,35	83,41	100,58	26,21
13:00:00	70,81	81,37	87,38	26,56
13:30:00	77,92	69,60	95,30	20,53
14:00:00	74,00	80,27	96,62	22,92
14:30:00	80,46	81,80	93,22	23,90
15:00:00	81,18	80,08	104,92	26,58
15:30:00	70,94	83,05	88,67	25,48
16:00:00	76,89	78,30	95,54	23,09
16:30:00	82,04	77,91	93,16	24,00
17:00:00	84,45	73,89	104,70	23,63
17:30:00	93,84	82,19	93,39	19,16
18:00:00	87,12	86,31	95,51	25,80
18:30:00	82,45	65,00	94,29	17,06
19:00:00	90,33	62,88	108,36	20,52
19:30:00	86,80	57,46	98,00	17,98
20:00:00	80,39	64,21	99,97	17,17
20:30:00	82,34	59,68	99,69	18,94
21:00:00	81,05	60,78	95,80	18,77
21:30:00	90,82	75,90	99,82	18,32
22:00:00	88,54	79,16	104,76	19,88
22:30:00	84,07	79,48	96,55	18,19
23:00:00	90,21	76,00	107,90	19,52
23:30:00	81,67	75,87	106,58	17,87
23:50:00	80,31	77,25	92,34	18,77
Max	114,70	126,24	120,44	34,86
Min	65,73	57,46	80,36	17,06
Rata-rata	85,18	77,39	99,24	21,62

Tabel 5. Arus tanggal 25 maret 2019

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:10:00	93,04	80,76	106,69	22,18
0:30:00	85,52	76,22	103,96	17,82
1:00:00	80,46	79,16	89,67	19,98
1:30:00	91,61	78,72	100,14	18,50
2:00:00	92,86	79,69	101,45	19,82
2:30:00	94,85	75,72	99,26	17,90
2:30:00	94,85	75,72	99,26	17,90

Tabel 6. Arus tanggal 25 maret 2019 (lanjutan)

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
2:30:00	94,85	75,72	99,26	17,90
3:00:00	91,45	68,17	102,95	19,23
3:30:00	74,39	77,59	90,08	18,57
4:00:00	80,48	73,87	96,82	19,86
4:30:00	87,99	74,29	90,70	19,25
5:00:00	91,85	72,84	96,36	18,01
5:30:00	90,78	77,78	107,82	19,29
6:00:00	78,38	83,63	95,26	22,58
6:30:00	92,23	95,24	99,30	23,76
7:00:00	221,11	260,29	239,36	33,72
7:30:00	345,62	368,16	399,03	61,85
8:00:00	369,90	404,08	394,45	46,47
8:30:00	423,31	462,51	517,33	69,82
9:00:00	435,43	488,53	519,01	77,18
9:30:00	450,32	543,67	555,36	75,33
10:00:00	455,64	522,44	558,19	66,28
10:30:00	467,61	480,58	510,38	42,70
11:00:00	480,62	538,20	552,00	66,45
11:30:00	466,45	494,91	541,02	59,64
12:00:00	553,96	477,59	532,92	51,01
12:30:00	525,11	473,91	525,35	51,17
13:30:00	512,16	561,33	558,04	71,55
14:00:00	496,82	557,65	537,85	70,53
14:30:00	489,77	528,05	558,29	67,67
15:00:00	419,89	470,98	446,82	65,39
15:30:00	386,69	397,50	394,97	45,74
16:00:00	337,02	363,97	350,82	53,51
16:30:00	303,43	328,90	295,21	52,69
17:00:00	260,35	266,34	261,86	44,58
17:30:00	189,69	167,44	214,51	31,08
18:00:00	145,16	111,79	163,30	28,50
18:30:00	135,29	104,32	172,68	37,18
19:00:00	141,45	104,29	174,00	34,44
19:30:00	153,11	132,85	179,93	34,29
20:00:00	142,32	122,28	175,76	32,70
20:30:00	119,66	128,51	186,19	44,74
21:00:00	109,28	107,34	173,66	43,22
21:30:00	101,19	74,47	150,86	33,20
22:00:00	103,90	49,25	149,04	34,30
22:30:00	100,15	47,81	137,95	34,11
23:00:00	95,51	37,86	141,65	36,56
23:30:00	89,96	39,23	143,66	38,07

Tabel 7. Arus tanggal 25 maret 2019 (lanjutan)

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
23:30:00	89,96	39,23	143,66	38,07
23:50:00	101,35	56,46	136,95	37,57
Max	553,96	561,33	558,29	77,18
Min	74,39	37,86	89,67	17,82
Rata-rata	236,56	236,82	269,35	40,62

Tabel 8. Arus tanggal 26 maret 2019

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:00:00	92,12	39,19	146,78	37,42
0:30:00	103,60	37,47	141,39	35,14
1:00:00	94,03	41,44	153,48	43,55
1:30:00	88,09	38,94	142,10	38,82
2:00:00	96,46	44,23	140,27	37,67
2:30:00	100,28	54,14	136,03	37,52
3:00:00	96,86	52,74	135,47	33,30
3:30:00	96,59	57,53	145,73	33,67
4:00:00	100,32	58,79	138,23	34,15
4:30:00	91,87	71,92	136,36	32,39
5:00:00	101,08	76,59	138,21	40,55
5:30:00	92,18	64,58	128,52	34,31
6:00:00	91,52	60,16	129,22	38,10
6:30:00	97,59	59,55	166,83	44,17
7:00:00	276,89	293,95	322,64	49,46
7:30:00	386,61	396,81	420,93	45,60
8:00:00	491,09	430,33	510,84	63,53
8:30:00	490,19	441,07	520,34	51,51
9:00:00	494,68	476,35	539,68	65,66
9:30:00	540,72	536,00	577,72	60,40
10:00:00	563,08	537,98	553,80	40,62
10:30:00	575,23	599,59	592,78	56,70
11:00:00	607,20	562,13	600,77	52,37
11:30:00	567,51	574,88	606,85	60,21
12:00:00	577,89	523,28	487,63	35,77
12:30:00	513,38	512,07	514,99	37,56
13:00:00	511,89	524,96	503,93	38,98
13:30:00	570,28	569,82	552,30	46,76
14:00:00	553,19	530,55	464,45	36,64
14:30:00	521,60	511,44	473,91	36,23

Tabel 9. Arus tanggal 26 maret 2019 (lanjutan)

Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
14:30:00	521,60	511,44	473,91	36,23
15:00:00	472,60	456,41	471,69	35,10
15:30:00	396,10	375,56	368,21	30,01
16:00:00	368,58	356,23	329,43	24,46
16:30:00	358,70	301,31	329,27	26,08
17:00:00	281,17	267,38	273,02	25,16
17:30:00	252,76	183,30	226,72	26,87
18:00:00	177,34	144,30	187,86	28,63
18:30:00	140,99	112,44	174,30	35,39
19:00:00	158,15	86,81	166,03	33,45
19:30:00	154,61	108,68	161,89	28,67
20:00:00	149,61	107,75	172,67	30,91
20:30:00	146,71	87,13	133,29	22,70
21:00:00	124,46	55,73	141,74	29,10
21:30:00	109,01	43,18	131,10	29,83
22:00:00	105,34	42,90	140,44	33,03
22:30:00	105,69	36,92	128,58	33,45
23:00:00	109,81	36,53	137,90	33,66
23:30:00	106,90	37,50	142,79	36,85
23:50:00	104,64	37,13	128,12	32,48
Max	607,20	599,59	606,85	65,66
Min	88,09	36,53	128,12	22,70
Rata-rata	273,62	237,87	289,13	38,26

4.3 Menghitung Power Losses Akibat Ketidakseimbangan Beban

Salah satu kerugian yang diakibatkan ketidakseimbangan beban yaitu adanya power losses atau kerugian daya. Untuk menghitung kerugian daya akibat ketidakseimbangan beban dilakukan pemilihan sampel pada hari libur yaitu data arus tanggal 24 maret 2019 dan hari kerja yaitu pada tanggal 25 maret 2019. perhitungan power losses terbagi menjadi dua, hal ini dilakukan karena PLN menerapkan perhitungan tarif listrik bagi UMY yang termasuk golongan S-3 dengan tarif per kWh nya terbagi menjadi waktu beban puncak dan luar waktu beban puncak.

Tabel 10. Arus WBP tanggal 24 maret 2019

Waktu	WBP (Waktu Beban Puncak)			
	Arus [V]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
18:00:00	87,12	86,31	95,51	25,80
18:30:00	82,45	65,00	94,29	17,06
19:00:00	90,33	62,88	108,36	20,52
19:30:00	86,80	57,46	98,00	17,98
20:00:00	80,39	64,21	99,97	17,17
20:30:00	82,34	59,68	99,69	18,94
21:00:00	81,05	60,78	95,80	18,77
21:30:00	90,82	75,90	99,82	18,32
22:00:00	88,54	79,16	104,76	19,88
Rata-rata	85,54	67,93	99,58	19,38

Tabel 11. Arus LWBP tanggal 24 maret 2019

Waktu	LWBP (Luar Waktu Beban Puncak)			
	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:00:00	86,62	82,71	99,00	19,78
0:30:00	77,72	81,77	100,40	19,88
1:00:00	89,02	58,83	102,94	22,06
1:30:00	90,98	60,63	101,15	20,07
2:00:00	95,83	74,32	104,70	20,04
2:30:00	81,88	80,86	97,70	19,04
3:00:00	80,02	61,32	100,30	20,38
3:30:00	78,97	61,89	100,04	20,20
4:00:00	90,52	70,36	108,00	18,85
4:30:00	83,97	70,69	93,16	18,88
5:00:00	90,06	74,13	107,53	19,94
5:30:00	83,63	71,29	97,91	21,16
6:00:00	76,80	77,54	101,09	23,12
6:30:00	74,07	74,42	89,04	20,54
7:00:00	66,08	74,03	80,36	22,48
7:30:00	65,73	79,49	84,05	25,04
8:00:00	70,33	78,12	91,19	25,33
8:30:00	83,01	63,28	97,64	18,66
9:00:00	108,46	126,24	109,14	34,86
9:30:00	112,05	102,11	107,57	24,37
10:00:00	114,70	100,73	120,44	22,38
10:30:00	111,24	103,63	113,68	25,16
11:00:00	114,60	103,99	109,43	23,27
11:30:00	83,16	81,83	86,51	21,03
12:00:00	88,47	86,03	106,68	22,10

Tabel 12. Arus LWBP tanggal 24 maret 2019
(lanjutan)

LWBP (Luar Waktu Beban Puncak)				
Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
12:00:00	88,47	86,03	106,68	22,10
12:30:00	77,35	83,41	100,58	26,21
13:00:00	70,81	81,37	87,38	26,56
13:30:00	77,92	69,60	95,30	20,53
14:00:00	74,00	80,27	96,62	22,92
14:30:00	80,46	81,80	93,22	23,90
15:30:00	70,94	83,05	88,67	25,48
16:00:00	76,89	78,30	95,54	23,09
16:30:00	82,04	77,91	93,16	24,00
17:00:00	84,45	73,89	104,70	23,63
17:30:00	93,84	82,19	93,39	19,16
22:30:00	84,07	79,48	96,55	18,19
23:00:00	90,21	76,00	107,90	19,52
23:30:00	81,67	75,87	106,58	17,87
23:50:00	80,31	77,25	92,34	18,77
Rata-rata	85,10	79,52	99,16	22,13

Tabel 13. Arus WBP tanggal 25 maret 2019

WBP (Waktu Beban Puncak)				
Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
18:00:00	145,16	111,79	163,30	28,50
18:30:00	135,29	104,32	172,68	37,18
19:00:00	141,45	104,29	174,00	34,44
19:30:00	153,11	132,85	179,93	34,29
20:00:00	142,32	122,28	175,76	32,70
20:30:00	119,66	128,51	186,19	44,74
21:00:00	109,28	107,34	173,66	43,22
21:30:00	101,19	74,47	150,86	33,20
22:00:00	103,90	49,25	149,04	34,30
Rata-rata	127,93	103,90	169,49	35,84

Tabel 14 Arus LWBP tanggal 25 maret 2019

LWBP (Luar Waktu Beban Puncak)				
Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:10:00	93,04	80,76	106,69	22,18
0:30:00	85,52	76,22	103,96	17,82

Tabel 15. Arus LWBP tanggal 25 maret 2019

LWBP (Luar Waktu Beban Puncak)				
Waktu	Arus [A]			
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
0:30:00	85,52	76,22	103,96	17,82
1:00:00	80,46	79,16	89,67	19,98
1:30:00	91,61	78,72	100,14	18,50
2:00:00	92,86	79,69	101,45	19,82
2:30:00	94,85	75,72	99,26	17,90
3:00:00	91,45	68,17	102,95	19,23
3:30:00	74,39	77,59	90,08	18,57
4:00:00	80,48	73,87	96,82	19,86
4:30:00	87,99	74,29	90,70	19,25
5:00:00	91,85	72,84	96,36	18,01
5:30:00	90,78	77,78	107,82	19,29
6:00:00	78,38	83,63	95,26	22,58
6:30:00	92,23	95,24	99,30	23,76
7:00:00	221,11	260,29	239,36	33,72
7:30:00	345,62	368,16	399,03	61,85
8:00:00	369,90	404,08	394,45	46,47
8:30:00	423,31	462,51	517,33	69,82
9:00:00	435,43	488,53	519,01	77,18
9:30:00	450,32	543,67	555,36	75,33
10:00:00	455,64	522,44	558,19	66,28
10:30:00	467,61	480,58	510,38	42,70
11:00:00	480,62	538,20	552,00	66,45
11:30:00	466,45	494,91	541,02	59,64
12:00:00	553,96	477,59	532,92	51,01
12:30:00	525,11	473,91	525,35	51,17
13:30:00	512,16	561,33	558,04	71,55
14:00:00	496,82	557,65	537,85	70,53
14:30:00	489,77	528,05	558,29	67,67
15:00:00	419,89	470,98	446,82	65,39
15:30:00	386,69	397,50	394,97	45,74
16:00:00	337,02	363,97	350,82	53,51
16:30:00	303,43	328,90	295,21	52,69
17:00:00	260,35	266,34	261,86	44,58
17:30:00	189,69	167,44	214,51	31,08
22:30:00	100,15	47,81	137,95	34,11
23:00:00	95,51	37,86	141,65	36,56
23:30:00	89,96	39,23	143,66	38,07
23:50:00	101,35	56,46	136,95	37,57
Rata-rata	261,63	267,49	292,39	41,73

4.4 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral

4.4.1 Pada Hari Minggu Tanggal 24 Maret 2019

1. Pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Berdasarkan data pada tabel pengukuran 4.31 dan dengan menggunakan persamaan 2.14 *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral dapat dihitung besarnya, yaitu:

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

$$P_N = (22,33)^2 \cdot 0,0408 \Omega$$

$$P_N = 20,34 \text{ Watt}$$

2. Pada Waktu Beban Puncak (WBP)

Berdasarkan data pada tabel pengukuran 4.31 dan dengan menggunakan persamaan 2.14 *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral dapat dihitung besarnya, yaitu:

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

$$P_N = (19,38)^2 \cdot 0,0408 \Omega$$

$$P_N = 15,32 \text{ Watt}$$

4.4.2 Pada Hari Senin Tanggal 25 Maret 2019

1. Pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Berdasarkan data pada tabel pengukuran 4.34 dan dengan menggunakan persamaan 2.14, *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral dapat dihitung besarnya, yaitu:

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

$$P_N = (41,73)^2 \cdot 0,0408 \Omega$$

$$P_N = 71,05 \text{ Watt}$$

2. Pada Waktu Beban Puncak (WBP)

Berdasarkan data pada tabel pengukuran 4.34 dan dengan menggunakan persamaan 2.14, *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral dapat dihitung besarnya, yaitu:

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

$$P_N = (35,84)^2 \cdot 0,0408 \Omega$$

$$P_N = 52,41 \text{ Watt}$$

4.5 Menghitung Kerugian Biaya Akibat Ketidakseimbangan beban

Perhitungan biaya yang harus dikeluarkan tiap hari, bulan dan tahun dengan pengelompokan hari kerja yang terbagi dua, yaitu hari padat kerja (5 hari) dan hari tidak padat kerja (2 hari, termasuk hari libur) akibat rugi – rugi yang disebabkan ketidakseimbangan beban yang terbagi berdasarkan tarif biaya WBP dan LWBP sesuai ketentuan PLN.

- Hari Padat Kerja perbulan = 23 hari dengan pertimbangan satu bulan 31 hari (5 Minggu)
- Hari Tidak Padat Kerja perbulan = 8 hari dengan pertimbangan satu bulan 31 hari (5 Minggu)
- Biaya *losses* pertahun = 12 bulan UMY berlangganan listrik dengan golongan S-3 dengan tarif WBP sebesar Rp. 1337 dan LWBP sebesar Rp. 955. Berikut adalah perhitungannya:

Tabel 16. losses daya perhari

	Besar Power losses (kW)		Besar Power Losses per-hari (kWh)	
	WBP	LWBP	WBP x 5 jam	LWBP x 19 Jam
Hari Libur	0,01532	0,02034	0,0766	0,38646
Hari Kerja	0,05241	0,07105	0,26205	1,34995

Dari tabel 12 diatas dapat diketahui bahwa rugi daya perhari pada gedung F3 pada hari kerja sebesar 1,612 kWh dan pada hari libur sebesar 0,46306 kWh.

Tabel 17. Kerugian Biaya Perhari

	Biaya kerugian akibat Power Losses per- hari		
	WBP x Rp. 1337	LWBP x Rp. 955	Total
Hari Libur	Rp. 102,4	Rp. 369,1	Rp. 471,5
Hari Kerja	Rp. 350,4	Rp. 1.289,2	Rp. 1.639,6

Dari tabel 17 diatas dapat diketahui bahwa rugi biaya perhari pada hari kerja pada gedung F3 sebesar Rp. 1.639,6 dan pada hari libur sebesar Rp. 471

Tabel 18. Kerugian Biaya Per-bulan

	Biaya kerugian akibat Power Losses per-bulan		
	WBP	LWBP	Total
Hari Libur	Rp. 819,2	Rp. 2.952,8	Rp. 3.772
Hari Kerja	Rp. 8.059,2	Rp. 29.651,6	Rp. 37.710,8
	Jumlah Total :		Rp.41.482,8

Dari tabel 18 diatas dapat diketahui bahwa kerugian biaya perbulan akibat ketidakseimbangan beban di gedung F3 yaitu sebesar Rp. 41.482,8

Tabel 19. Kerugian Biaya Per-Tahun

	Biaya Kerugian Akibat Power Losses per-tahun (Rp)		
	WBP	LWBP	Total
Hari Libur	Rp. 9.830,4	Rp. 35.433,6	Rp.45.264
Hari Kerja	Rp.96.710,4	Rp.355.819,2	Rp.452.529,6
	Jumlah Total :		Rp.497.793

Dari tabel 19 diatas dapat diketahui bahwa kerugian biaya pertahun akibat ketidakseimbangan beban di gedung F3 yaitu sebesar Rp.497.793

4.6 Analisis Nilai Keseimbangan Beban

Masalah ketidakseimbangan beban perlu segera diatasi agar meminimalisir nilai arus netral yang menimbulkan rugi – rugi daya dan kerugian finansial bagi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, salah satu cara untuk mengatasi adalah dengan cara menyeimbangkan beban fasa.

Dari data perhitungan yang telah dilakukan terdapat beberapa nilai persentase yang cukup tinggi akan tetapi jika dilihat dari nilai pembebanan, arusnya sangat kecil bahkan mencapai 0 sehingga tidak dapat terlalu mengkhawatirkan karena kecil nilai pembebanan akan menghasilkan arus netral yang kecil pula, maka penyeimbangan beban dilakukan pada hari yang memiliki nilai arus yang sangat tinggi yaitu pada hari selasa 25 Maret 2019.

Contoh perhitungan penyeimbangan beban berikut ini menggunakan data pengukuran pada hari Senin 25 Maret 2019

$$\begin{aligned}
 X &= (X_1 + X_2 + X_3) / n \\
 &= I_R + I_S + I_T / 3 \\
 &= 236,56 + 236,82 + 269,35 / 3 \\
 &= 2447,57 \cong 245 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk mencapai titik kesimbangan

Fasa R : $236,56 - 245 = -8,44 \cong -8 \text{ A}$ (menerima tambahan beban sebesar 8 A)

Fasa S : $236,82 - 245 = -8,18 \cong -8 \text{ A}$ (menerima tambahan beban sebesar 8 A)

Fasa T : $269,35 - 245 = 24,35 \cong 24 \text{ A}$ (memindahkan beban sebesar 24 A)

Tingginya arus netral tersebut meskipun masih dibawah batas standar tetapi dapat menyebabkan rugi – rugi penghantar netral yang cukup banyak sehingga perlu adanya upaya meminimalisir dengan menyeimbangkan

beban pada jaringan 3 fasa. Penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan memindahkan beban dari fasa yang memiliki beban yang tinggi ke fasa yang bebannya rendah.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan pada bab – bab sebelumnya maka penulis mengambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. presentase ketidakseimbangan beban pada hari minggu, 24 Maret 2019 sesuai dengan perhitungan diperoleh.
 - a. Pada keadaan LWBP sebesar 8,3 %
 - b. Pada Keadaan WBP sebesar 13 %
2. presentase ketidakseimbangan beban pada hari Senin, 25 Maret 2019 sesuai dengan perhitungan diperoleh.
 - a. Pada keadaan LWBP sebesar 5 %
 - b. Pada Keadaan WBP sebesar 18 %
3. Besarnya *Losses* akibat arus yang mengalir pada penghantar netral pada hari minggu, 24 Maret 2019 sesuai dengan perhitungan diperoleh.
 - a. Pada keadaan LWBP sebesar 20,34 Watt
 - b. Pada Keadaan WBP sebesar 15,32 Watt
4. Besarnya *Losses* akibat arus yang mengalir pada penghantar netral pada hari Senin, 25 Maret 2019 sesuai dengan perhitungan diperoleh.
 - a. Pada keadaan LWBP sebesar 71,05 Watt
 - b. Pada Keadaan WBP sebesar 52,41 Watt
5. Berdasarkan perhitungan beban yang harus dipindahkan untuk mencapai keseimbangan beban adalah Fasa R menerima tambahan beban sebesar 8 A. Fasa S menerima tambahan beban sebesar 8 A. Fasa T memindahkan beban sebesar 24 A
6. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui rugi biaya akibat *losses* di gedung F3 sebesar Rp.497.793 per-tahun
7. Semakin besar ketidakseimbangan beban maka arus netral yang mengalir di penghantar netral dan losses semakin besar.
8. salah satu cara mengatasi losses arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa

6. Daftar Pustaka

- [1] Setiadji, 2006. “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi”. Jurnal Teknik Elektro,
- [2] Susongko, 2016. Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder Gardu Distribusi DS 0587 di PT.PLN (Persero) Distribusi Bali Rayon Denpasar” *E-Journal SPEKTRUM*
- [3] Fuchs, F Ewald. A.S dan Masoum, Mohammad. 2008. *Power Quality in Power System and Electrical Machines*. UK: Elsevier’s Science & Technology Rights Departement in Oxford
- [4] Abrar, Tamammul. 2017. Analisis Ketidakseimbangan Beban Dan Rencana Penyeimbangan Beban Dengan Metode *All Reconnecting* Di Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) Cabang Flores Bagian Barat. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [5] Antonov dan Doni A. 2015. Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi Feeder Sikakap). Padang: Institut Teknologi Padang. Jurnal Teknik Elektro ITP
- [6] Sukmadi, Tejo dan Bambang Winardi. 2009. Perhitungan dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Rugi – Rugi

- Daya (Studi Kasus Pada PT. PLN UPJ Slawi). Semarang: Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Elektro
- [7] Siregar, S.R. dan Raja Harahap. 2017. Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, Dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban. Medan: USU. Jurnal teknik elektro Badan Standarisasi Nasional 200. Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung, Konservasi Energi Sistem Pencahayaan Bangunan Gedung (SNI 03-6196 2000, SNI 03-6197-2000). Jakarta (ID): Departemen Pendidikan Nasional.
- [8] Hazli, Fikri herian, 2018. "audit energi listrik gedung AR Fachrudin A dan B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta" Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [9] Company Syauqi Al Ghifari.2011.Audit Energi Pada Rumah Sakit Julius S, Tabrani Machmudsyah, Yanuar Isnanto. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi
- [10] SNI 03-6196-2000. "Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung". Jakarta: Yadi Mulyadi, Anggi Rizki, dan Sumarto – Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Penggunaan Energi di Gedung FPMIPA JICA Universitas Pendidikan Indonesia: Bandung; Universitas Pendidikan Indonesia 2013.
- [11] Muhammad Fikry Maulana Sabran – Audit Energi Gedung Pasca Sarjana Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Bantul: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2016.
- [12] Mukhlis – Evaluasi Penggunaan Energi Listrik pada Bangunan Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako: Sulawesi Tengah; Universitas Tadulako 2011.
- [13] Ricky Salpanio – Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus UNDIP Pleburan Semarang, Semarang: Universitas Diponogoro, 2007.