

Analisis Keseimbangan Beban dan Harmonisa Di Gedung Graha Polinema

Ahmad Hermawan^{a)}, Mudjiono,^{b)}Chandra Wiharya^{c)} Siffa Seftiana^{d)}

(Artikel diterima : Juli 2021, direvisi: Oktober 2021)

Abstrak: Keseimbangan beban yang besar diakibatkan penggunaan beban listrik 1 fasa pada sistem 3 fasa dan Harmonisa yang jelek disebabkan oleh beban beban yang tidak sinusoida yang akan menyebabkan rugi rugi pada jaringan yang menyebabkan kualitas distribusi tenaga listrik yang jelek. Penelitian ini bertujuan melakukan monitoring dan menganalisis keseimbangan beban dan harmonisa di Gedung Graha Polinema Politeknik Negeri Malang. Penelitian adalah penelitian survey dan studi kasus dengan data primer didapat dengan metode pengukuran langsung dengan melakukan Monitoring dengan *Web – Based Power Quality Meter* (PM 5110) untuk mengambil data pada setiap Panel SDP, data sekunder melalui observasi . Dari penelitian ini didapat Nilai dari ketidakseimbangan arus tertinggi 133,50% pada Panel SDP Lantai 4 Utara Gedung Grapol melebihi standar, berdasarkan standar IEEE 1159-2009 bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 30%. Terjadi IHD Arus di 8 Panel SDP kecuali di Panel Pompa Air Utara dan Selatan. TDD semua panel masih dalam batas standar. THDv semua panel masih dalam batas standar yaitu tertinggi 2,37% di Panel Lantai 4 Utara.

Kata kunci : ketidakseimbangan, harmonisa, rugi-rugi.

1. Pendahuluan

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen secara kontinyu dan dengan kualitas daya yang baik dari segi regulasi tegangan maupun regulasi frekuensinya. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis beban tertentu seperti beban non linier. Ukuran yang paling baik untuk mendefinisikan kualitas daya listrik adalah kemampuan peralatan listrik untuk beroperasi secara optimal sesuai dengan spesifikasi peralatan. Dalam dunia kelistrikan, khususnya dalam masalah kualitas daya (*Power Quality*) ada beberapa referensi standar yang telah ditetapkan.

Untuk melihat kondisi kualitas daya di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang pengambilan data dilakukan menggunakan alat *Web – Based Power Quality Meter* (PM 5110) guna mendapatkan data secara cepat dan akurat, untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas daya di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang.

2. Tinjauan Pustaka

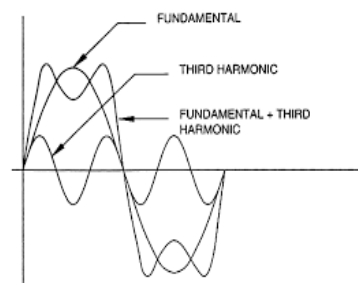
2.1. Kualitas Daya

Kualitas daya didefinisikan dengan ukuran sejauh mana daya listrik yang dikirimkan pengguna sesuai dengan performa

peralatan listrik pengguna energi listrik tersebut. Setiap deviasi dari magnitude atau frekuensi dari gelombang tegangan sinusoida sistem dapat disebut sebagai gangguan. Ukuran yang paling baik untuk mendefinisikan kualitas daya listrik adalah kemampuan peralatan listrik untuk beroperasi secara optimal sesuai dengan spesifikasi peralatan.

2.2. Harmonisa

Harmonik adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan (Lubis, 2011:2). Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya.



Gambar 2.1 Gelombang Hasil Penjumlahan

(Lubis, 2011:3)

* Korespondensi: email penulis : siffaseftiana2122@gmail.com

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

Harmonisa dapat menyebabkan suatu distorsi harmonisa, yaitu suatu gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan.

THD (*Total Harmonic Distortion*)

$$THD \text{ Arus} : THD_V = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_h^2}{V_1} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$THD \text{ Tegangan} : THD_I = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_h^2}{I_1} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

IHD (*Individual Harmonic Distortion*)

$$IHD = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

TDD (*Total Demand Distortion*)

$$TDD_1 = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_{(1)rated}}} \dots \dots \dots (4)$$

$$ISC = \frac{I_n}{U_{SC} \times U_{20} \times \sqrt{3}} \dots \dots \dots (5)$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (6)$$

2.3. Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidakseimbangan tegangan (*voltage imbalance*, atau *voltage unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fase tegangan atau arus listrik, dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fase atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persentase (Dugan, 1996).

2.4. Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut (Kartika Sari, 2018:5).

Dilihat dari vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila transformator mengalami keadaan tidak seimbang:

- a. Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk 120°.
- b. Sudut pada vektor antar fasa sebenarnya sudah membentuk 120° namun nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan.

- c. Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk 120°.

3. Metode Penelitian

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

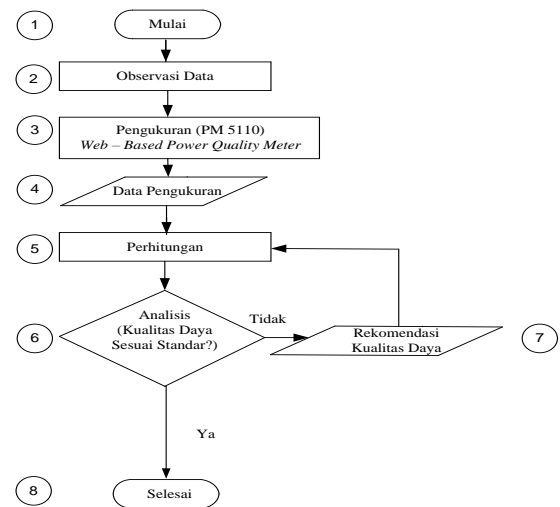
Adapun waktu dan tempat penelitian adalah sebagai berikut:

Waktu : 01 Maret 2021 – 31 Oktober 2021 (6 Bulan)

Tempat : Gedung Graha – Politeknik Negeri Malang

3.2. Diagram Alir Penulisan Skripsi (Flowchart)

Metode perencanaan dari skripsi ini ditunjukkan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penulisan Skripsi (Flowchart)

3.3. Hasil Penelitian

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Panel SDP Lantai 3 Utara Gedung Graha

Current (Ampere)				Voltage (L-N) (Volt)			%Current Unbalance	%Voltage Unbalance	Power Faktor (%)		
R	S	T	N	R-N	S-N	T-N			R	S	T
22.12	15.1	7.24	12	231.5	233.5	233.4	34.27	0.33	0.93	0.9	0.95
24.12	15.1	7.19	13	230.1	234	232.1	37.21	0.37	0.94	0.9	0.95
24	15.1	7.21	13	231.3	233.1	232.3	37.14	0.37	0.94	0.9	0.95
24.12	15.1	7.24	13	231.4	233.2	233.5	37.28	0.38	0.94	0.9	0.94
24.12	15.2	7.23	13	230.1	233.9	232.2	37.01	0.38	0.94	0.9	0.95
22.12	15.1	7.23	12	230.5	232.4	231.3	34.14	0.33	0.93	0.9	0.95
22	15.1	7.23	12	230.3	232.2	231.1	34.18	0.33	0.93	0.9	0.95
23.75	15.3	7.29	13	232.6	234.7	234.8	35.91	0.36	0.92	0.89	0.94
23.62	15.3	7.26	13	232.4	234.5	234.6	35.89	0.35	0.92	0.89	0.94
23.62	15.2	7.27	13	232.2	234.3	233.5	35.98	0.35	0.92	0.89	0.94
23.62	15.3	6.91	13	232.4	234.4	234.6	36.74	0.37	0.92	0.89	0.95
23.62	15.2	6.97	13	232.4	234.4	234.6	36.68	0.35	0.92	0.9	0.95
23.62	15.2	6.92	13	232	235	233.1	36.6	0.35	0.93	0.9	0.95
23.62	15.2	6.91	13	232	234	233.1	36.58	0.36	0.93	0.9	0.95
23.62	15.2	6.92	13	231.9	234.9	233	36.68	0.35	0.93	0.89	0.95
23.62	15.2	6.95	13	232	234	233.1	36.65	0.35	0.92	0.89	0.95
23.62	15.2	7.11	13	233	234.1	233.1	36.23	0.34	0.92	0.89	0.95
23.62	15.2	7.13	13	231.8	233.9	233.9	36.3	0.35	0.92	0.89	0.95
23.62	15.2	7.06	13	231.9	235	233.1	36.27	0.35	0.92	0.9	0.95
23.75	15.4	7.07	13	233.2	235.4	235.5	35.29	0.35	0.92	0.89	0.95
23	15.3	7.12	13	233.2	235.4	234.4	35.4	0.34	0.91	0.89	0.95
22.37	15.3	7.09	12	233.2	235.4	234.4	35.05	0.34	0.92	0.89	0.95
22.37	15.4	7.1	12	233	235.3	234.3	34.97	0.33	0.92	0.89	0.95
22.37	15.8	7.12	12	233.1	235.4	234.4	35.38	0.34	0.92	0.88	0.95
22.37	15.8	7.12	12	233.1	235.4	234.4	35.4	0.32	0.92	0.88	0.95

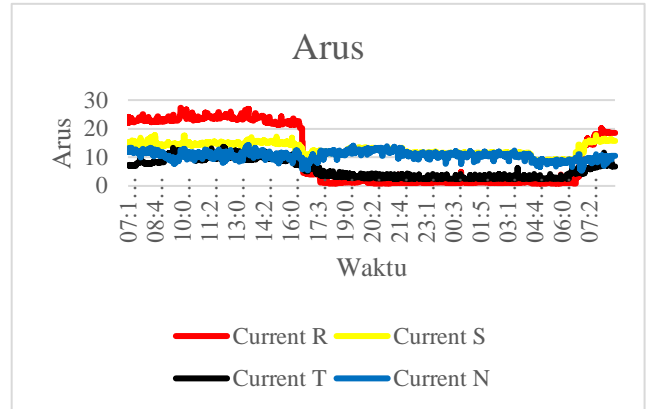
4. Pembahasan

4.1. Sistem Kelistrikan Gedung Graha Politeknik Negeri Malang

Sistem kelistrikan di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang ini disuplai dengan 1 trafo yang kapasitasnya 1.000 kVA daya dari PLN 1 incoming (masuk) dan 1 outgoing (keluar). Memasang Web – Based Power Quality Meter (PM 5110) untuk mengambil data pada setiap Panel SDP, memasang semua peralatan yang ada di koper peralatan sesuai prosedur pengukuran 3.6. Memasang kabel jack banana clamp CT dan capit buaya ke koper peralatan yang sudah diberi label, kemudian clamp CT dipasang pada kabel atau busbar utama pada panel, dan jepitkan capit buaya pada baut atau busbar. Setelah Selesai melakukan pengukuran pastikan yang dilepas pertama adalah clamp CT pada panel, setelah itu baru lepas kabel jack banana pada koper alat ukur. Terdapat 10 panel SDP di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang yang penulis bahas.

4.2. Analisis Kondisi Arus di Lantai 3 Utara Gedung Graha Politeknik Negeri Malang

Berdasarkan pengukuran menggunakan Web – Based Power Quality Meter yang dilakukan di Lantai 3 Utara Gedung Graha, diambil sampel data arus selama 24 jam sebagai bahan analisis.

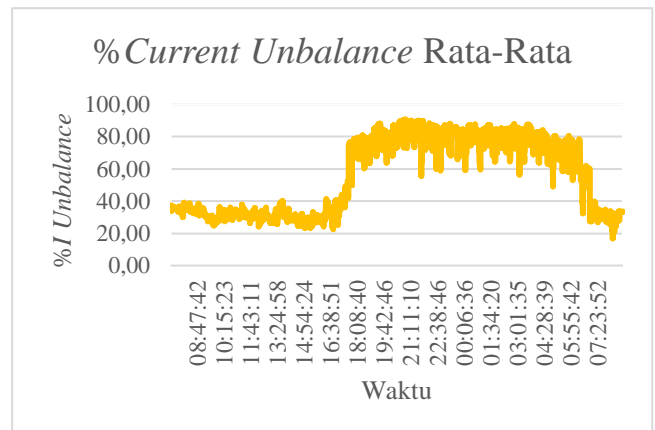


Gambar 4.1 Kondisi Arus Lantai 3 Utara Gedung Graha

Dari data pengukuran kondisi grafik di atas bisa diketahui nilai arus tertinggi di Lantai 3 Utara Gedung Graha fasa R adalah 26,87 A pada pukul 13.41 WIB. Nilai tertinggi fasa S adalah 17,76 A pada pukul 7.49 WIB. Nilai tertinggi fasa T adalah 13,66 A pada pukul 12.09 WIB. Untuk arus netral akibat tidak seimbangnya beban tertinggi adalah 14,23 A, yaitu pada pukul 13.39 WIB.

4.3. Analisis Ketidakseimbangan Arus di Lantai 3 Utara Gedung Graha Politeknik Negeri Malang

Berdasarkan pengukuran menggunakan Web – Based Power Quality Meter yang dilakukan di Lantai 3 Utara Gedung Graha selama 24 jam, maka didapatkan beberapa parameter yang mendukung analisis permasalahan ketidakseimbangan arus (L-N)



Gambar 4.2 Ketidakseimbangan Arus (L-N) Lantai 3 Utara Gedung Graha

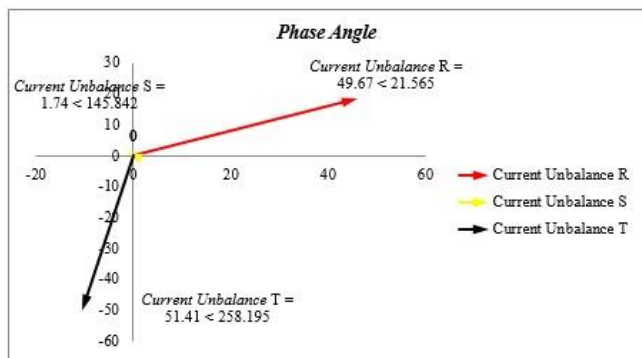
Dari data pengukuran, diperoleh data ketidakseimbangan arus. Nilai prosentase ketidakseimbangan arus tertinggi yang terjadi di Lantai 3 Utara Gedung Graha adalah sebesar 90,81% pada pukul 20.53 WIB. Sedangkan untuk nilai prosentase ketidakseimbangan arus terendah adalah sebesar 16,89% pada pukul 8.15 WIB.

Tabel 4.1 Prosentase Terendah dan Tertinggi Ketidakseimbangan Arus Lantai 3 Utara Gedung Graha

Data ke-	Tanggal	Jam (WIB)	%Current Unbalance	Keterangan
1530	9-04-2019	20:53:03	90.81	Current Unbalance Tertinggi
2882	10-04-2019	8:15:46	16.89	Current Unbalance Terendah

Dari data pengukuran di atas mengindikasikan bahwa ketidakseimbangan arus (*current unbalance*) di Lantai 3 Utara Gedung Graha melebihi dalam batas standar. Berdasarkan standar IEEE 1159-2009 yang menyatakan bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 30%.

Gambar 4.3 Diagram Vektor Ketidakseimbangan Arus RST Lantai 3 Utara Gedung Graha



51,41 < 258,195.

4.4. Harmonisa Gedung Graha Politeknik Negeri Malang

Menentukan Arus Hubung Singkat pada Trafo:

$$I_{sc} = \frac{I_n}{U_{sc} \times U_{20} \times \sqrt{3}} = \frac{1.000 \text{ kVA} \times 100}{5 \times 0,4 \text{ kV} \sqrt{3}} = 28901 \text{ A}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat di Panel SDP Lantai 3 Utara Gedung Graha

	R (mΩ)	X (mΩ)	RT (mΩ)	XT (mΩ)	$I_{sc} = \frac{400}{\sqrt{3 \times RT^2 + XT^2}}$
MV Network Pac = 500 MVA	0.035	0.351			
Transformer 20 kV/400 V Pn = 1000 kVA Usc = 5% Fcu = 13.3 x 10 ³ watts	2.24	8.1			
Single-core cables 10 m Cu 4 x 240 mm ² /phase	$R_c = \frac{22.5}{4} \times \frac{10}{240} = 0.23$	$X_c = 0.08 \times 10 = 0.8$	2.505	9.251	24.14 kA
MCB	$R_c = 0$	$X_c = 0.15$			
Busbar 10 m	$R_n = 0$	$X_n = 1.5$	2.505	10.901	20.68 kA
Single-core cables					

Data di atas adalah hasil perhitungan Arus Hubung Singkat yang terjadi di Panel SDP Lantai 3 Utara Gedung Graha sebagai sampel.

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{13750}{44.45} = 309,34 \text{ A}$$

$I_L = 319,11 \text{ A}$ (Dari penjumlahan Arus RST pada 10 Panel SDP)

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{1.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}} = 1443,38 \text{ A}$$

Faktor Pembebanan Trafo:

$$\frac{I_L}{I_{FL}} = \frac{319,11}{1443,38} = 0,22 \text{ A} = 22\%$$

Tabel 4.3 THD Arus Lantai 3 Utara Gedung Graha

Orde Harmonisa	Arus (Ampere)			Total Ih
	R	S	T	
1	4.5	2	3.4	9.9
3	0.63	0.83	0.76	2.22
5	0.5	0.37	0.45	1.32
7	0.24	0.33	0.23	0.8
9	0.17	0.23	0.12	0.52
11	0.16	0.2	0.21	0.57
13	0.14	0.13	0.18	0.45
15	0.08	0.07	0.11	0.26
1 s/d 15	6.42	4.16	5.46	16.04
THDi (%)				16.84
TDD (%)				8.42

Dari data perhitungan di atas mengindikasikan bahwa di Lantai 3 Utara Gedung Graha TDD Arus (*Total Demand Distortion*) masih dalam batas standar yang telah ditentukan yaitu

8,70%. Berdasarkan standar IEEE 519-1992 yang menyatakan bahwa batas TDD dari hasil I_{sc}/I_L 100-1000 yaitu 15%.

Tabel 4.4 THD Tegangan Lantai 3 Utara Gedung Graha

Orde Harmonisa	Tegangan (Volt)		
	R	S	T
1	220	220	220
3	0	0	0
5	4.05	4.34	3.76
7	0	0	0
9	0	0	0
11	0	0	0
13	0	0	0
15	0	0	0
1 s/d 15	224.05	224.34	223.76
THDv (%)	1.84	1.97	1.71

Dari data perhitungan di atas mengindikasikan bahwa di Lantai 3 Utara Gedung Graha THD Tegangan (*Total Harmonic Distortion*) masih dalam batas standar yang telah ditentukan yaitu THDv tertinggi pada fasa S 1,97%. Berdasarkan Standar IEEE 519-1992 yang menyatakan bahwa batas THDv dari hasil $V_n \leq 66kV$ yaitu 5%

Tabel 4.5 Perhitungan Penentuan Standar TDD

No	Panel SDP	$\frac{I_{sc}}{I_L}$ (A)	TDD Pengukuran (%)	Standar TDD (%)	Keterangan
1	Basement Gedung Graha	944.39	8.42	15	Standar
2	Lantai 1 Selatan Gedung Graha	263.10	3.92	15	Standar
3	Lantai 2 Utara Gedung Graha	160.37	4.63	15	Standar
4	Lantai 2 Selatan Gedung Graha	499.03	3.34	15	Standar
5	Lantai 3 Utara Gedung Graha	309.34	8.70	15	Standar
6	Lantai 3 Selatan Gedung Graha	319.47	9.40	15	Standar
7	Lantai 4 Utara Gedung Graha	404.18	4.64	15	Standar
8	Lantai 4 Selatan Gedung Graha	249.05	4.95	15	Standar
9	Pompa Air Utara Gedung Graha	1389.96	2.86	20	Standar
10	Pompa Air Selatan Gedung Graha	1430.84	3.12	20	Standar

4.5. Solusi Perbaikan Kualitas Daya

Rekomendasi untuk meminimalisir nilai ketidakseimbangan arus (beban) yaitu:

- Beban antar fasa dibagi mendekati nilai seimbang atau pembagian beban antar fasa yang seimbang.
- Saat melakukan perencanaan masing-masing beban juga harus diperhatikan, karena sebagian beban per lantai di Gedung Graha mempunyai beban yang dioperasikan

secara bersama dari fasa yang sama. Hal ini membuat nilai ketidakseimbangan arus menjadi besar pada beberapa waktu.

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai *losses* Sebelum dan Setelah Terpengaruh Harmonisa

Sebelum Terpengaruh Harmonisa	Setelah Terpengaruh Harmonisa
14,4 kW	40,557 kW

Dari di atas dapat diketahui perbandingan nilai *losses* trafo sebelum dan setelah terpengaruh harmonisa. Dimana nilai *losses* trafo setelah terpengaruh harmonisa lebih besar dari *losses* trafo sebelum terpengaruh harmonisa. Hal ini disebabkan karena dampak arus harmonisa dapat meningkatkan *losses* pada trafo.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari data pengukuran dan perhitungan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Memasang *Web – Based Power Quality Meter* (PM 5110) untuk mengambil data pada setiap Panel SDP. Memasang kabel jack banana clamp CT dan capit buaya ke koper peralatan yang sudah diberi label, kemudian clamp CT dipasang pada kabel atau busbar utama pada panel, dan jepitkan capit buaya pada baut atau busbar. Setelah Selesai melakukan pengukuran pastikan yang dilepas pertama adalah clamp CT pada panel, setelah itu baru lepas kabel jack banana pada koper alat ukur.
- Kondisi kualitas daya di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang yaitu nilai dari ketidakseimbangan arus tertinggi 133,50% pada Panel SDP Lantai 4 Utara Gedung Grapol melebihi standar, berdasarkan standar IEEE 1159-2009 bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 30%. Terjadi IHD Arus di 8 Panel SDP kecuali di Panel Pompa Air Utara dan Selatan. TDD semua panel masih dalam batas standar. THDv semua panel masih dalam batas standar yaitu tertinggi 2,37% di Panel Lantai 4 Utara. Berdasarkan Standar IEEE 519-1992.
- Rekomendasi untuk permasalahan kualitas daya yang terjadi di Gedung Graha Politeknik Negeri Malang yaitu terjadinya ketidakseimbangan tegangan dan arus menyebabkan adanya arus netral, agar perlu diperhatikan ketika pembagian beban antar fasa supaya seimbang,

karena sebagian beban tiap lantai di Gedung Graha mempunyai beban yang dioperasikan secara bersama dari fasa yang sama sehingga nilai arus menjadi besar, untuk masalah IHD arus ada yang melebihi batas standar dan untuk TDD semua panel masih dalam batas standar, sedangkan IHD Tegangan masih dalam batas standar dan THDv masih dalam batas standar.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian penelitian pada gedung gedung yang telah berumur lebih dari 10 tahun, karena pada gedung lama biasanya telah terjadi perubahan pada instalasi dan beban yang dipasang sehingga dapat diketahui apakah keseimbangan beban dan harmonisa gedung tersebut masih standart atau perlu perbaikan.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim1. (2010). *Electric Installation Guide*. Indonesia: Technical Collection, hal. 24, 327, 330, 338..
- [2] Anonim2. (1992). *IEEE 519 - 1992 : Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York: IEEE, hal. 78, 85.
- [3] Anonim3. (1995). *IEEE 1159 - 1995 : Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. New York: IEEE, hal. 3.
- [4] Anonim4. (2014). *Power Logic PM5100 Series Power and Energy Meter*. France: Schneider Electric, hal. 1.
- [5] Anonim5.(2017).KatalogSchneider.www.arduino.cc/en/Main/arduino-Board-Mega/. Jakarta: Schneider Electric, hal. 190-192.
- [6] Anonim6. (2017). RS 485 Module Communication Guide. New York: EIA, hal. 4.
- [7] Anonim7. (2012). Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan). Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO), hal. 2, 3.
- [8] Anonim8. (1995). Tegangan-Tegangan Standar. Jakarta: PT. PLN (PERSERO), hal. 12.
- [9] Anonim9. (2009). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Electric. Jakarta: IEEE 1159-2009, hal. 6.
- [10] Anonim10. (2009). *Voltage Unbalance and Motors*. Indonesia: Pacific Gas and Electric Company, hal. 2
- [11] Dugan, R. C. (1996). *Electrical Power Systems Quallity Second Edition*. New York: McGraw-Hill, hal. 1, 15, 16, 17, 24, 25, 213.
- [12] Habibi, M. M. (2018). Analisis Kualitas Daya (Power Quality) Berbasis DBMS (Database Management System) Di Politeknik Negeri Malang. Malang: Politeknik Negeri Malang, hal. 20-23.
- [13] Kartika Sari, G. A. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta, hal. 5 dan 6.
- [14] Lubis, A. (2011). *Analisis Dan Simulasi Kualitas Daya : Faktor Daya, Tegangan Kedip Dan Harmonisa Pada Perencanaan Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik (PERSERO) Tbk. Pabrik Semen Tuban IV*. Surabaya: Teknik Elektro FTI-ITS, hal. 2-3.
- [15] Lister, E. C. (1993). *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga, hal. 147.
- [16] Schlabbach, J. (2000). *Voltage Quality in Electrical Power Systems*. New York: McGraw-Hill, hal. 25.
- [17] Selistiyoningsih, R. (2018). *Perancangan dan Implementasi Monitoring Energy System Menggunakan Arduino Berbasis Web Base Cloud di Gedung AG Politeknik Negeri Malang*. Malang: Politeknik Negeri Malang, hal. 7,8,14.