

**AUDIT KUALITAS DAYA GEDUNG G5
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

Dimas Bangkit W

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Email: dimas.bangkit.2014@ft.umy.ac.id

ABSTRACT

Muhammadiyah University of Yogyakarta as an educational institution certainly uses the building as a supporting facility for all activities carried out. In each of these activities, of course, use electrical energy, but not infrequently the electrical energy used exceeds the limits of reasonableness of use resulting in financial swelling. Energy audit is an activity carried out periodically to determine the amount of energy consumption, irregularities that occur in the system, load imbalances that cause power losses in a building by measuring on the SDP panel using a power quality analyzer with IEEE 59-1992 as a reference to obtain the results of the average voltage fluctuations are still within the safe limits determined by PLN, namely 198-231 volts. The value for % THD_v is still within the safe limit of all under 5%, as well as for the % THD_i value is also still within the safe limit of tolerance of 15%. As a result of harmonic disturbances and load imbalances in the G5 building in 2018 caused losses of power losses that need to be borne by UMY in the amount of Rp 9,210,133.09

Keywords: Energy Audit, Electric Power Quality, Power Quality Analyzer,

Pendahuluan

Tingkat kepadatan penduduk setiap tahunnya bertambah, berbanding lurus dengan kebutuhan energi baik dari industri, perusahaan, instansi lain maupun beban perumahan, dikarenakan energi merupakan salah satu faktor penting untuk operasional perangkat elektronik yang digunakan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut pemerintah Indonesia mencanangkan proyek besar-besaran untuk menambah jumlah pembangkit yang rencananya mencapai daya 35.000 MW sehingga diharapkan kebutuhan energi dan kesejahteraan rakyat dapat tercakupi.

Namun pembangunan pembangkit listrik yang tergolong besar tersebut akan sama saja hasilnya apabila tidak diikuti oleh kesadaran masyarakat akan penghematan energi. Padahal bila dilihat dari segi ekonomis melakukan perhematan energi dapat menguntungkan banyak pihak, konsumen dapat menghemat pengeluaran untuk pembayaran rekening mengingat adanya kenaikan tarif dasar tiap tahun, pemerintah juga dapat mengurangi pembangunan pembangkit yang membutuhkan dana yang tidak sedikit sehingga dapat melunasi atau mengurangi hutang.

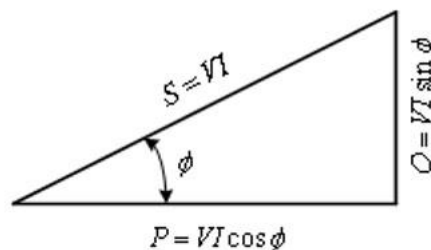
Untuk mengefisienkan pemakaian energi sering digunakan metode Konservasi Energi. Konservasi Energi adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan oleh konsumen atau biasa disebut dengan proses penghematan energi salah satunya metodenya adalah Audit Energi, yakni sebuah metode untuk menghitung tingkat konsumsi energi suatu gedung atau bangunan.

Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta selaku instansi pendidikan tentunya menggunakan gedung sebagai sarana penunjang untuk seluruh kegiatan yang dijalankan. Dalam setiap aktifitas tersebut tentunya menggunakan energi listrik baik untuk penerangan ruangan, temperature ruangan, maupun sebagai media penyalur informasi. Dengan banyaknya aktifitas tersebut, tidak jarang energi listrik yang digunakan melebihi batas kewajaran penggunaan sehingga penggunaannya tidak efektif mengakibatkan pembengkakan dalam segi finansial.

Metode Penelitian

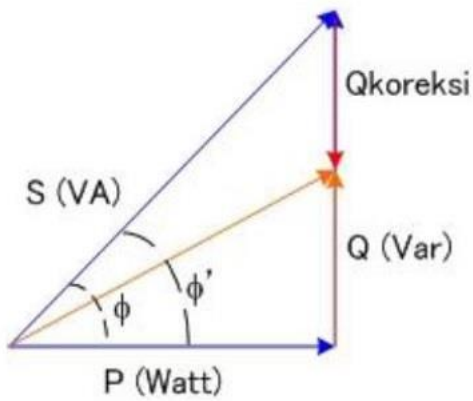
Faktor daya ($\cos \mu$) merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya semu (S), nilainya berkisar antara 0 hingga 1. Beban resistif memiliki factor daya 1 dan beban induktif murni memiliki factor daya 0. Faktor daya yang tinggi memiliki kelebihan seperti pengurangan biaya dan rugi – rugi. Perbaikan faktor daya juga membantu menghindari denda dan memberikan insentif kepada konsumen.

Hubungan matematika ketiga gaya tersebut dapat digambarkan dalam diagram segitiga daya.



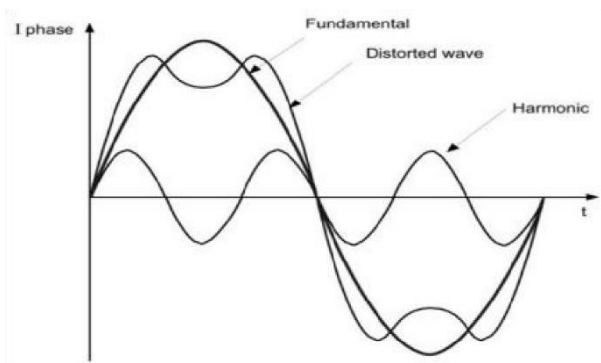
Gambar 1 Hubungan segitiga daya

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada jaringan tersebut. Kapasitor adalah komponen listrik yang menghasilkan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban induktif pada jaringan dimana dia tersambung, sehingga mengurangi daya yang diserap oleh beban induktif dari sumber tegangan pembangkit PLN. Sudut yang ditimbulkan kapasitor dan beban induktif mempunyai perbedaan 180° atau saling berlawanan sehingga saling meniadakan. Pada segitiga daya seperti ditunjukkan pada Gambar 1, apabila kapasitor dipasang maka daya reaktif yang disediakan oleh sumber akan berkurang sebesar (yang merupakan daya reaktif berasal dari kapasitor). Karena daya aktif tidak berubah sedangkan daya reaktif berkurang, maka dari sudut pandang sumber, segitiga daya yang diperoleh; ditunjukkan pada Gambar 2 garis oranye. Terlihat bahwa sudut f mengecil akibat pemasangan kapasitor tersebut sehingga faktor daya jaringan akan naik. Nilai kapasitor yang optimal dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya.

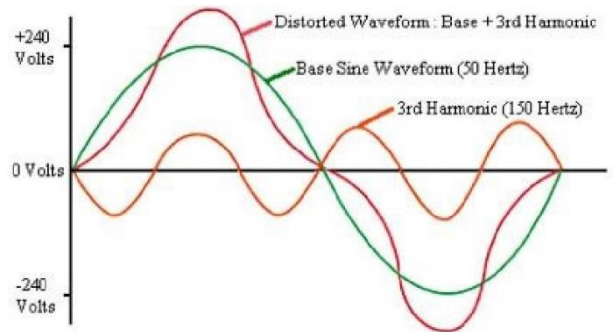


Gambar 2 Perbaikan faktor daya

Harmonisa adalah tegangan ataupun arus sinusoida yang mempunyai frekuensi sebesar kelipatan dari frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga yaitu gelombang dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Gelombang – gelombang tersebut selanjutnya menumpang pada gelombang sinusoida frekuensi dasarnya atau sinusoida murni sehingga terbentuk gelombang sinusoida yang terdistorsi. Bentuk gelombang sinusoida murni dengan gelombang harmonisa dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Gelombang murni dan gelombang terdistorsi harmonisa



Gambar 4 Gelombang harmonisa ketiga dan kelima

Berdasarkan sumber gelombangnya, kita ketahui ada harmonisa arus dan harmonisa tegangan. Harmonisa berdasarkan urutan ordenya dibedakan menjadi harmonisa urutan ganjil dan harmonisa urutan genap. Harmonisa urutan ganjil yaitu ke 3,5,7,9,11 dan seterusnya. Urutan gelombang ke 1 adalah gelombang aslinya pada frekuensi 50 Hz. Harmonisa genap yaitu harmonisa ke 2,4,6,8,10 dan seterusnya. Harmonisa berdasarkan urutan fasanya dibedakan menjadi 3 macam yaitu harmonisa urutan positif, harmonisa urutan nol dan harmonisa urutan negative. Harmonisa urutan positif (positive sequence) mempunyai fasa yang sama dengan gelombang murni frekuensi dasarnya 50 Hz. Harmonisa urutan nol (zero sequence) tidak berpengaruh pada putaran medan, tapi menghasilkan panas pada komponen dan sistem. harmonisa urutan nol sering disebut juga dengan triplens harmoniks yaitu harmonisa ke 3,9,15 dan seterusnya. Harmonisa urutan negative (negative sequence) mempunyai fasa yang berlawanan dengan gelombang murni frekuensi dasarnya 50 Hz.

Tabel 1 Polaritas orde harmonisa

Orde Harmonisa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan polaritas	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan standar IEEE 519-1992

Tabel 2 Limit distorsi arus harmonisa

MAXIMUM HARMONIC CURRENT DISTORSION In % of fundamental						
I _{sc} / I _L	HARMONIS ORDER (ODD DISTORSION)					THD
	< 11	11<h≤17	17<h≤23	23<h≤35	35<h	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20–50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50–100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100–1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
EVEN HARMONIC are limited to 25% of the odd harmonic limit above						
*All power generation equipment in limited of these values of current distortion, regardless of actual I _{sc} / I _L						
I _{sc} = Maximum short circuit current at PCC						
I _L = Maximum load current (fundamental frequency) at PCC						

Tabel 3 Limit distorsi tegangan harmonisa

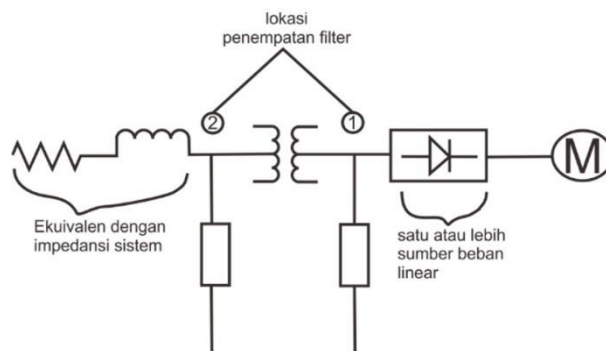
HARMONIC VOLTAGE DISTORSION In % of fundamental			
	< 69 kV	69 – 138 kV	> 138 kV
Max for individual harmonic	3	1.5	1
Total harmonic distortion (THD)	5	2.5	1.5

Filter harmonisa utamanya digunakan untuk menurunkan atau mereduksi amplitude frekuensi tertentu dan harmonisa tegangan atau harmonisa arus. Filter harmonisa dibedakan menjadi dua yaitu filter aktif dan filter pasif. Pada filter pasif terdapat komponen kapasitor, selain berfungsi sebagai filter juga diharapkan dapat memperbaiki faktor daya pada jala-jala listrik tersebut. Jenis filter pasif diantaranya yaitu :

1. Filter dengan penalaan tunggal (Single Tuned Shunt Filter)
2. Filter dengan penalaan ganda (Double Tuned Filter)
3. Damped Filter

Terdapat dua pilihan lokasi untuk penempatan filter yaitu filter dipasang pada bagian incoming trafo atau dipasang pada bagian outgoing trafo dekat dengan beban. Penempatan filter pasif sedapat mungkin dapat mereduksi gangguan harmonisa secara

maksimal, diusahakan dekat dengan beban non linear. Gambar dibawah memperlihatkan dua pilihan lokasi penempatan filter harmonisa



Gambar 5 Penempatan filter pasif

Data pengambilan ini diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 17 Mei sampai 31 Mei 2018. Data Variabel yang diukur dan dianalisis pada penelitian ini adalah:

1. Frekuensi
2. Arus
3. Tegangan
4. Daya Semu
5. Daya Reaktif
6. Daya Aktif
7. Faktor Daya
8. Ketidakseimbangan Arus
9. Ketidakseimbangan Tegangan
10. Harmonisa Arus
11. Harmonisa Tegangan

Alat yang digunakan pada saat pengukuran kualitas daya listrik pada Gedung G5 adalah Three Phase Power Quality Analyzer model 3945-B. Dalam pengukuran alat yang digunakan mampu mengukur besaran arus, tegangan, daya, faktor daya true, faktor daya, displacement, dan lain-lain. Penelitian dilakukan dengan mengukur tiap panel listrik dengan durasi pengukuran 24 jam setiap panel.

Pengukuran dilakukan selama 2 minggu. Setelah proses pengukuran selesai dilakukan analisis data kualitas daya listrik. Juga dilakukan perhitungan Power losses atau rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh unbalance dan menghitung tariff dasar listrik dengan ketentuan yang sudah di tetapkan PLN.

Pengukuran dilakukan pada Sub Distribution Panel (SDP). Durasi pengukuran tiap panel selama 24 jam dengan interval waktu pengambilan data setiap 15 menit. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain:

1. Menghubungkan MN93 pada masing-masing fasa R, S, T panel, dengan pola warna yang sesuai.
2. Menghubungkan jumper tegangan pada fasa R, S, T serta grounding pada panel sesuai warna masing-masing, kemudian dikoneksikan pada alat ukur Three Phase Power Quality Analyzer.
3. Konfigurasi recording atau perekaman meliputi nama, durasi pengukuran dan durasi interval pengambilan data.
4. Start recording.
5. Setelah data selesai direkam langkah selanjutnya adalah transfer data hasil rekaman dari alat ukur Three Phase Power Quality Analyzer ke komputer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya terpasang pada gedung masuk ke dalam golongan pengguna listrik tarif sosial komersial dengan daya lebih dari 200 KVA. Data hasil pengukuran panel SDP hari Senin pada tanggal 21 Mei 2018. Berdasarkan hasil

pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 4 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari senin

No	Parameter	Senin			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	50.01333			
2	Tegangan (V)	226.47	230.85	230.88	
3	THD Tegangan (%)	2.3875	2.2958	2.2333	
4	Arus (A)	26.758	42.317	40.117	23.621
5	THD Arus (%)	9.4125	11.858	11.225	
6	Daya Aktif (W)	5605.895	9251.671	8242.803	
7	Daya Reaktif (Var)	2127.83	3000.47	3906.39	
8	Daya Semu (VA)	6008.386	9735.045	9165.153	
9	Faktor Daya	0.896	0.95	0.874	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.2708333			
11	A Unbalanced IEEE (%)	38.625			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari senin dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah 5% - 10% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 226.47V pada fasa R, 230.85V pada fasa S dan 230.88V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase R.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari senin dapat dilihat pada tabel 4.78 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.23% (fasa T) – 2.39% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 9.41% (fasa R)

– 11.86% (fasa S). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.896, 0.95, 0.874. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Selasa pada tanggal 29 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 5 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari selasa

No	Parameter	Selasa			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	49.97667			
2	Tegangan (V)	224.7	229.4	230	
3	THD Tegangan (%)	2.238	2.183	2.096	
4	Arus (A)	31.533	42.85	51.313	29.125
5	THD Arus (%)	9.117	11.63	11.64	
6	Daya Aktif (W)	6583.59	9255.97	10662.4	
7	Daya Reaktif (Var)	2279.7	3085.4	4366.9	
8	Daya Semu (VA)	6986.1	9768.43	11581.6	
9	Faktor Daya	0.92	0.94	0.9	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.45			
11	A Unbalanced IEEE (%)	37.39583			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari selasa dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah +5% dan -10% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 224.7V pada fasa R, 229.4V pada fasa S dan 230V pada fasa T.

Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fasa R.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari selasa dapat dilihat pada tabel 4.79 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.10% (fasa T) – 2.24% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 9.12% (fasa R) – 11.64% (fasa T). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.92, 0.94, 0.9. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Rabu pada tanggal 23 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 6 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari rabu

No	Parameter	Rabu			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	50.0017			
2	Tegangan (V)	223.9	229	229.7	
3	THD Tegangan (%)	2.238	2.183	2.083	
4	Arus (A)	32.11	39.85	52.94	32.3
5	THD Arus (%)	10.53	13.01	10.17	
6	Daya Aktif (W)	6822.3	8548.8	11085	
7	Daya Reaktif (Var)	2020	2907	4316	
8	Daya Semu (VA)	7122.7	9052.8	11955	
9	Faktor Daya	0.95	0.94	0.9	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.6125			
11	A Unbalanced IEEE (%)	34.1125			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari rabu dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah -10% dan +5% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 223.9V pada fasa R, 229V pada fasa S dan 229.7V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase R.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari rabu dapat dilihat pada tabel 4.80 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.08% (fasa T) – 2.24% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 10.17% (fasa T) – 13.01% (fasa S). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan

bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.95, 0.94, 0.9. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Kamis pada tanggal 31 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 7 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari kamis

No	Parameter	Kamis			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	49.9996			
2	Tegangan (V)	225.3	229.7	231.2	
3	THD Tegangan (%)	2.275	2.254	2.121	
4	Arus (A)	32.8	34.6	55.78	42.8
5	THD Arus (%)	10.95	14.38	11.43	
6	Daya Aktif (W)	7004.7	7400.9	8224.6	
7	Daya Reaktif (Var)	2119	2743	8370.6	
8	Daya Semu (VA)	7328.7	7908.3	12771	
9	Faktor Daya	0.95	0.93	0.58	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.49167			
11	A Unbalanced IEEE (%)	48.575			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari kamis dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah -10% dan +5% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 225.3V pada fasa R, 229.7V pada fasa S dan 231.2V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus

perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase T.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari kamis dapat dilihat pada tabel 4.81 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.12% (fasa T) – 2.27% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 10.95% (fasa R) – 14.38% (fasa S). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S,T terukur 0.95, 0.93, 0.58. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Jum`at pada tanggal 25 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 8 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari jum`at

No	Parameter	Jum`at			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	49.996			
2	Tegangan (V)	225.2	229	230.5	
3	THD Tegangan (%)	2.26	2.125	2.005	
4	Arus (A)	29.18	25.98	72.05	65.82
5	THD Arus (%)	11.71	6.38	8.57	
6	Daya Aktif (W)	6284.3	5449.7	8821.02	
7	Daya Reaktif (Var)	1683	1977	13547	
8	Daya Semu (VA)	6509.8	5814.3	16596	
9	Faktor Daya	0.97	0.58	0.02	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.33			
11	A Unbalanced IEEE (%)	84.155			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari jum`at dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah -10% dan +5% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 225.2V pada fasa R, 229V pada fasa S dan 230.5V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase T.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari jum`at dapat dilihat pada tabel 4.82 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.0% (fasa T) – 2.26% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 6.38% (fasa S) – 11.71% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%,

sehingga dapat dikatakan bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.97, 0.58, 0.02. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Sabtu pada tanggal 19 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 9 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari sabtu

No	Parameter	Sabtu			Netral
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	
1	Frekuensi (Hz)	50.019			
2	Tegangan (V)	227.5	231.8	233	
3	THD Tegangan (%)	2.33	2.33	2.1	
4	Arus (A)	17.56	34	32.25	25.04
5	THD Arus (%)	12.39	15.44	11.53	
6	Daya Aktif (W)	3713	7498.7	6799.5	
7	Daya Reaktif (Var)	1463	2383	3071	
8	Daya Semu (VA)	3995	7879.7	7476.9	
9	Faktor Daya	0.93	0.95	0.9	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.39			
11	A Unbalanced IEEE (%)	46.97			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari sabtu dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah -10% dan +5% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 227.5V pada fasa R, 231.8V pada fasa S dan 233V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus

perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase T.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari Sabtu dapat dilihat pada tabel 4.83 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.1% (fasa T) – 2.33% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 11.53% (fasa T) – 15.44% (fasa S). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.93, 0.95, 0.9. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Data hasil pengukuran panel SDP hari Minggu pada tanggal 27 Mei 2018. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan di panel SDP, maka dengan menggunakan nilai rata-rata parameter dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 10 nilai rata-rata hasil pengukuran panel SDP hari minggu

No	Parameter	Minggu			
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
1	Frekuensi (Hz)	49.9942			
2	Tegangan (V)	230.9	235.4	235.9	
3	THD Tegangan (%)	2.375	2.25	2.138	
4	Arus (A)	8.817	23.47	15.95	20.87
5	THD Arus (%)	9.529	15.68	13.6	
6	Daya Aktif (W)	1893	5183	3215	
7	Daya Reaktif (Var)	764.3	1884	1890	
8	Daya Semu (VA)	2046	5536	3775	
9	Faktor Daya	0.74	0.92	0.77	
10	V Unbalanced IEEE (%)	1.35417			
11	A Unbalanced IEEE (%)	56.825			

Berdasarkan data hasil pengukuran panel SDP pada hari minggu dapat dilihat bahwa nilai tegangan rata-rata masih dalam batasan yang diizinkan yakni batasan naik turun ialah -10% dan +5% dari nilai tegangan standar 220V atau antara 198-231V, dimana dari hasil pengukuran yang di dapat yakni 230.9V pada fasa R, 235.4V pada fasa S dan 235.9V pada fasa T. Sedangkan pada hasil pengukuran arus listrik terjadi ketidakseimbangan beban. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai arus perfasa yang cukup besar juga adanya nilai arus netral yang besarnya mendekati nilai arus pada fase S.

Gangguan harmonik yang terjadi pada hari Sabtu dapat dilihat pada tabel 4.84 dimana nilai %THDv pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 2.14% (fasa T) – 2.38% (fasa R). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE batas maksimal untuk nilai %THDv adalah 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa %THDv gedung G5 masih memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai %THDi pada panel SDP gedung G5 berada pada kisaran 9.53% (fasa R) – 15.68% (fasa S). Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan IEEE nilai %THDi tidak boleh melebihi angka 15%, sehingga dapat dikatakan

bahwa %THDi gedung G5 masih memenuhi standar.

Faktor daya yang terukur pada panel SDP gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk fasa R, S, T terukur 0.74, 0.92, 0.77. nilai tersebut berada diatas nilai standar PLN yakni sebesar 0.85. *Voltage Unbalanced* (ketidakseimbangan beban) masih bisa dikatakan aman dikarenakan batas standar IEEE yang ditentukan untuk nilai *Voltage Unbalanced* adalah sebesar 2%.

Besar hambatan penghantar kabel fasa dan netral bernilai sama yakni sebesar 0,193Ω/Km. Besar hambatan penghantar kabel ini sesuai dengan spesifikasi kabel yang terpasang dalam instalasi listrik yakni kabel NYY supreme dengan luasan per fasa sebesar 95mm² dengan asumsi jarak kabel dengan trafo sama yakni sejauh 1km.

CHARACTERISTICS							
No. of Core	Size	Resistance at 20°C		Current Carrying Capacity at 30°C		Short Circuit Current at 1 sec.	AC Voltage Test
		Conductor	Insulation	In Ground	In Air		
				Amper	Amper		
-	mm ²	Ohm / km	M. Ohm/km	Amper	Amper	KA	KV / 5 min
1	1,5	12,1	50	33	26	0,17	3,5
1	2,5	7,41	50	45	35	0,29	3,5
1	4	4,61	50	58	46	0,46	3,5
1	6	3,08	40	74	58	0,70	3,5
1	10	1,83	30	98	80	1,16	3,5
1	16	1,15	30	129 / 132	105 / 107	1,86	3,5
1	25	0,727	30	169 / 172	140 / 143	2,91	3,5
1	35	0,524	20	210 / 214	175 / 179	4,07	3,5
1	50	0,387	20	250 / 255	215 / 219	5,81	3,5
1	70	0,268	20	310 / 316	270 / 275	8,14	3,5
1	95	0,193	20	375 / 383	335 / 342	11,05	3,5
1	120	0,153	20	425 / 434	390 / 398	13,95	3,5
1	150	0,124	20	480 / 490	445 / 454	17,44	3,5
1	185	0,0991	20	550 / 561	510 / 520	21,51	3,5
1	240	0,0754	20	640 / 653	620 / 632	27,91	3,5
1	300	0,0601	20	730 / 745	710 / 724	34,88	3,5
1	400	0,0470	20	855 / 872	850 / 867	46,51	3,5
1	500	0,0366	20	990 / 1010	1000 / 1020	58,14	3,5

Gambar 6 Spesifikasi kabel NYY supreme 95mm²

Tabel 13 Nilai arus netral harmonik LWBP

Orde	Hari							Satuan
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	Sabtu	Minggu	
1	13.95	37.93	24.45	14.92	45.65	16.62	11.67	Ampere
3	0.29	0.93	0.63	1.11	3.28	0.26	0.22	Ampere
5	0.83	1.25	0.32	0.31	0.62	0.44	0.73	Ampere
7	0.37	1.27	0.58	0.38	0.30	0.36	0.56	Ampere
9	1.12	2.23	1.07	1.23	1.29	1.05	1.31	Ampere
11	1.01	2.02	1.45	1.68	0.58	1.45	1.31	Ampere
13	0.39	1.44	0.84	0.86	0.33	1.10	0.67	Ampere
15	0.41	0.72	0.33	0.41	0.46	0.42	0.58	Ampere
17	0.19	0.55	0.32	0.41	0.20	0.27	0.54	Ampere
19	0.18	0.32	0.13	0.15	0.13	0.23	0.31	Ampere
21	0.08	0.11	0.04	0.07	0.03	0.12	0.11	Ampere
23	0.11	0.20	0.11	0.11	0.03	0.17	0.16	Ampere
25	0.04	0.04	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	Ampere
27	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	Ampere
29	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	Ampere
31	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Ampere
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere

Tabel 14 Nilai arus netral harmonik WBP

Orde	Hari							Satuan
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jum'at	Sabtu	Minggu	
1	17.59	7.61	11.86	46.38	30.72	16.57	14.73	Ampere
3	1.57	0.16	2.56	5.60	5.12	0.68	1.26	Ampere
5	0.12	0.62	0.81	1.24	1.06	1.14	1.05	Ampere
7	0.79	0.54	0.76	0.60	0.41	0.89	0.63	Ampere
9	0.65	1.03	1.62	1.71	0.54	1.89	1.52	Ampere
11	1.66	1.34	1.59	1.67	0.57	2.36	1.64	Ampere
13	0.97	1.13	1.22	1.17	0.57	1.27	0.99	Ampere
15	0.02	0.19	0.22	0.22	0.21	0.05	0.26	Ampere
17	0.43	0.62	0.55	0.62	0.29	0.72	0.53	Ampere
19	0.07	0.06	0.07	0.02	0.03	0.05	0.14	Ampere
21	0.21	0.19	0.15	0.22	0.05	0.25	0.15	Ampere
23	0.13	0.08	0.12	0.07	0.05	0.15	0.12	Ampere
25	0.17	0.09	0.07	0.08	0.00	0.07	0.16	Ampere
27	0.04	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	Ampere
29	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05	Ampere
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ampere

Berikut besar *power losses* akibat arus netral harmonik pada panel SDP:

Tabel 15 Besar *power losses* pada kawat netral

Hari	Netral (LWBP)	Netral (WBP)	Satuan
Senin	3.658413	4.713053	Watt
Selasa	9.463729	2.637521	Watt
Rabu	5.852346	4.168861	Watt
Kamis	4.183857	11.50639	Watt
Jum'at	10.21271	7.642156	Watt
Sabtu	4.353375	5.036386	Watt
Minggu	3.523887	4.484962	Watt

Berikut besar *power losses* panel SDP pada fasa R, fasa S, fasa T dan netral serta nilai totalnya:

Tabel 16 Nilai *power losses* akibat unbalance dan harmonik (LWBP)

Hari	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral	Total	Satuan
Senin	6.095	9.725	9.579	3.658	29.0577	Watt
Selasa	7.458	10.816	13.197	9.464	40.9352	Watt
Rabu	7.225	9.677	13.468	5.852	36.2222	Watt
Kamis	7.955	9.048	11.725	4.184	32.9124	Watt
Jum'at	6.675	5.920	16.430	10.213	39.2379	Watt
Sabtu	4.890	8.427	9.473	4.353	27.1444	Watt
Minggu	1.881	5.774	3.674	3.524	14.8528	Watt
Total	42.1802	59.3883	77.5458	41.2483	220.363	Watt

Tabel 17 Nilai *power losses* akibat unbalance dan harmonik (WBP)

Hari	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral	Total	Satuan
Senin	5.977	10.979	7.577	4.713	29.2453	Watt
Selasa	4.815	7.651	6.169	2.638	21.2729	Watt
Rabu	7.026	9.131	5.409	4.169	25.7346	Watt
Kamis	4.982	6.670	15.723	11.506	38.8815	Watt
Jum'at	5.087	3.617	11.178	7.642	27.5246	Watt
Sabtu	3.466	9.099	5.631	5.036	23.232	Watt
Minggu	2.557	7.227	3.767	4.485	18.0355	Watt
Total	33.9096	54.3741	55.4533	40.1893	183.926	Watt

Perhitungan presentase *power losses* dibanding dengan total daya aktif yang terpakai. Total daya aktif yang dijadikan acuan adalah total daya aktif rata-rata pada panel SDP hari senin.

Tabel 18 daya aktif rata-rata pada panel SDP hari senin

Daya Aktif	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Total
MAX	12743.04	13503.18	21710.99	47957.21
MIN	364.19	4555.56	1871.82	6791.57
AVERAGE	5605.895	9251.671	8242.803	23100.37

Perhitungan prosentase Power Losses:

$$\begin{aligned} \text{Prosentase } \Delta P &= \frac{\Delta P}{P} \times 100\% \\ &= \frac{220.363 + 183.926}{23100.37} \times 100\% \\ &= 1.75\% \end{aligned}$$

Jadi besar nilai *power losses* akibat harmonik dan unbalance adalah sebesar 1.75% dari total penggunaan daya nyata pada panel SDP.

Tarif Dasar Listrik untuk Pelayanan Sosial Komersial dengan batas daya diatas 200 kVA termasuk kedalam golongan tarif S-3K/TM yaitu. Biaya perkWH untuk golongan ini dibagi menjadi dua, yaitu biaya WBP (Waktu Beban Puncak) dan biaya LWBP (Luar Waktu Beban

Puncak). Perhitungan perkiraan biaya yang harus dikeluarkan tiap hari, bulan dan tahun akibat rugi-rugi daya yang disebabkan oleh distorsi harmonik dan unbalance load (ketidakseimbangan beban).

Keterangan: biaya loses perbulan = Rp 2.794,84 (WBP) dan Rp 1.242,15 (LWBP), dengan pertimbangan satu hari = 19 jam LWBP dan 5 jam WBP juga satu bulan = 4 minggu.

Tabel 19 besar biaya LWBP akibat *power losses*

Hari	Losses (Kw)	Losses/Day	Biaya/Day	Biaya/Bln	Biaya/Thn
Senin	0.029	0.5520965	20745.05	82980.18	995762.22
Selasa	0.041	0.7777686	29224.68	116898.74	1402784.86
Rabu	0.036	0.6882212	25859.94	103439.76	1241277.06
Kamis	0.033	0.6253351	23496.99	93987.95	1127855.44
Jum'at	0.039	0.745521	28012.98	112051.91	1344622.95
Sabtu	0.027	0.5157443	19379.11	77516.44	930197.33
Minggu	0.015	0.2822039	10603.82	42415.28	508983.41
Total			Rp 157.322,57	Rp 629.290,27	Rp 7.551.483,28

Tabel 19 besar biaya WBP akibat *power losses*

Hari	Losses (Kw)	Losses/Day	Biaya/Day	Biaya/Bln	Biaya/Thn
Senin	0.029	0.1462263	5494.46	21977.83	263734.02
Selasa	0.021	0.1063647	3996.66	15986.64	191839.64
Rabu	0.026	0.1286728	4834.89	19339.54	232074.51
Kamis	0.039	0.1944077	7304.88	29219.50	350634.04
Jum'at	0.028	0.1376228	5171.18	20684.72	248216.66
Sabtu	0.023	0.1161602	4364.72	17458.89	209506.71
Minggu	0.018	0.0901775	3388.42	13553.69	162644.23
Total			Rp 34.555,20	Rp 138.220,82	Rp 1.658.649,81

Sehingga total perkiraan biaya yang perlu dikeluarkan oleh Universitas Muhammadiyah akibat rugi-rugi daya yang timbul akibat distorsi harmonisa dan ketidakseimbangan beban untuk gedung G5 pada tahun 2018 adalah sebesar:

Total perkiraan biaya : Biaya LWBP + Biaya WBP
 : Rp 7.551.483,28 + Rp 1.658.649,81
 : Rp 9.210.133,09

Kesimpulan

1. Secara keseluruhan kondisi kualitas daya pada gedung G5 kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dalam kondisi yang cukup baik.
2. Nilai fluktuasi untuk tegangan rata-rata seluruhnya masih dalam batas aman yang ditentukan PLN yakni 198-231 Volt dengan nilai tegangan terendah adalah 223.9 Volt dan tertinggi 235.9 Volt.
3. Terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem yang menyebabkan adanya arus pada netral dengan nilai terendah 20.87 pada hari minggu dan paling tinggi adalah 65.82 untuk hari jum'at.
4. Nilai untuk %THDv masih dalam batas aman toleransi IEEE 519-1992 yakni 5% dengan prosentase terendah yakni 2.005% dan tertinggi 2.3875%, begitupun untuk nilai %THDi juga masih dalam batas aman toleransi yakni sebesar 15% dengan nilai terendah 6.38% dan tertinggi 15.68%.
5. Ada beberapa nilai faktor daya yang kurang dari standard yang telah ditetapkan oleh pln yakni: pada hari kamis fasa T bernilai 0.58; pada hari jum'at fasa S dan fasa T masing-masing bernilai 0.58 dan 0.02; dan pada hari minggu pada fasa R dan fasa T dengan nilai masing-masing fasa 0.74 dan 0.77.
6. Gangguan harmonik dan ketidakseimbangan beban menyebabkan adanya power losses pada sistem sebesar 1.75%.
7. Total perkiraan biaya kerugian yang perlu dibayarkan akibat power losses yang

disebabkan oleh distorsi harmonik dan ketidakseimbangan beban pada gedung G5 tahun 2018 adalah Rp 9.210.133,09

DAFTAR PUSTAKA

Iftadi, Irwan. 2015. *Kelistrikan Industri*.

Yogyakarta: Graha Ilmu

Ngakil, Ibnu. 2010. *Audit Kualitas Daya Listrik Khususnya Harmonisa pada Industri Paper*. Jakarta: Departemen Teknik Elektro – Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Almanda Deni, Bayu Kusuma. 2015. *Audit Energi Listrik Pabrik*. Jakarta: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

<https://electridot.wordpress.com/2012/10/15/pengaruh-ketidakseimbangan-pembebanan-pada-trafo-distribusi/>

diakses pada tanggal 31 Juli 2018 pukul 14:35 WIB

http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf diakses pada tanggal 05 Agustus 2018 pukul 04:00 WIB