

# ANALISIS PROFIL TEGANGAN DAN ARUS PADA GEDUNG LAYANAN KESEHATAN RSPAU Dr. S HARDJOLUKITO YOGYAKARTA

GAGA HANDIKA REVANGGA SAPUTRA

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA  
email : [gagahandika170296@gmail.com](mailto:gagahandika170296@gmail.com)

## ABSTRAK

Sistem tenaga listrik yang digunakan di Indonesia secara keseluruhan adalah sistem tegangan tiga fasa dengan arus bolak-balik. Energi listrik tiga fasa ini dibangkitkan oleh generator tiga fasa yang disalurkan melalui saluran transmisi tiga fasa. Pada proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen pasti mengalami drop tegangan. Sistem tegangan listrik tiga fasa pembebanan fasa R, fasa S, dan fasa T harus seimbang, apabila tidak seimbang maka akan timbul arus pada penghantar netral. Penggunaan beban nonlinier menyebabkan terdistorsinya gelombang sinusoida sehingga menyebabkan harmonik. Akibat ketidakseimbangan beban dan harmonik menyebabkan ketidak efisiensi penggunaan energi listrik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas daya listrik pada RSAPAU Dr. S Hardjolukito Yogyakarta. Pengukuran dilakukan pada panel LVMDP. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval 30 menit. Pengukuran meliputi Frekuensi [Hz], tegangan [volt], total *harmonic distortion* (THD) tegangan [%], arus [ampere], Total *Harmonic distortion* (THD) arus [%], faktor daya, unbalance voltage [%], dan unbalance arus [%]. Hasil pengukuran kualitas daya listrik diketahui bahwa terjadi masalah pada nilai total *harmonic distortion* (THD) arus [%] sudah melewati batas Standar IEEE 519-1992 sebesar 12 %. Harmonik arus menyebabkan ketidak efisiensi penggunaan energi listrik sehingga harus membayar kerugian sebesar Rp. 282.890,99 per-tahun. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, untuk mereduksi harmonik dilakukan perencanaan pemasangan Filter pasif single tuned dan Aktif filter harmonik.

**Kata Kunci : Kualitas Daya Listrik, Harmonik, Unbalance, Filter pasif single tuned, Aktif filter harmonik**

## A. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik merupakan sebuah konsep pada sistem tenaga listrik yang berkaitan mengenai mutu daya yang ada pada sistem. Kualitas daya listrik memberikan konsep mengenai baik atau buruknya kualitas dari tegangan, arus, dan frekuensi listrik. Ketiga hal tersebut

merupakan parameter yang harus memenuhi standar acuan yang ada. Jika parameter tersebut tidak memenuhi standar, maka kualitas daya akan terganggu, sehingga dapat menimbulkan gangguan dan kerusakan pada peralatan listrik di sisi penyuplai maupun konsumen, selain itu juga dapat membahayakan terhadap keselamatan manusia.

Dalam kualitas daya listrik ada beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur baik atau tidaknya suatu daya yang disuplai pada suatu sistem tenaga listrik, yaitu:

1. Dapat memenuhi beban puncak.
2. Memiliki urutan fase yang benar.
3. Memiliki jaminan tegangan yang setimbang
4. Memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum.
5. Menjamin distorsi gelombang tegangan dan distorsi harmonik yang minimal dan bebas dari surja tegangan.
6. Memberikan suplai daya yang memiliki keandalan tinggi dengan persentase pelayanan yang tinggi dimana beban dapat melayani beban secara efektif.

## **B. Standar Kualitas Daya Listrik**

### **1. Frekuensi [Hz]**

Frekuensi yaitu jumlah siklus arus bolak-balik (alternating current, AC) per detik. Beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar, sebesar 50 Hz. Frekuensi listrik ditentukan oleh kecepatan perputaran dari turbin sebagai penggerak mula. Salah satu contoh akibat dari frekuensi listrik yang tidak stabil adalah akan mengakibatkan perputaran motor listrik sebagai penggerak mesin-mesin produksi di industri manufaktur juga tidak stabil.

Standar frekuensi nominal 50 Hz, tidak lebih rendah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50,5 Hz, dan selama waktu keadaan darurat (emergency) dan gangguan, frekuensi Sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52

Hz sebelum unit pembangkit diizinkan keluar dari operasi. (Permen ESDM).

### **2. Tegangan [Volt]**

Tegangan Listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Tegangan listrik yang dinyatakan dengan satuan Volt ini juga sering disebut dengan beda potensial listrik karena pada dasarnya tegangan listrik adalah ukuran perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Suatu benda dikatakan memiliki potensial listrik lebih tinggi daripada benda lain karena benda tersebut memiliki jumlah muatan positif yang lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah muatan positif pada benda lainnya. Sedangkan yang dimaksud dengan Potensial listrik itu sendiri adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda.

“Permen ESDM No. 4 Tahun 2009 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik. Batasan Titik Sambung untuk Konsumen Tegangan antar fasa yaitu 400 V Volt sedangkan tegangan fasa dengan netral yaitu 230 V merupakan tegangan nominal 400V antar fasa dan 230 V fasa ke netral. Dengan Batas +5% maksimal antar fasa yaitu 420 Volt sedangkan fasa dengan netral yaitu 241,5 V tegangan minimal -10% antar fasa yaitu 360 Volt sedangkan fasa dengan netral yaitu 207 Volt”

### **3. *Unbalance* [%]**

Perbedaan tegangan pada masing-masing phasa pada sistem tiga phasa, dimana sudut normal antar phase adalah 120°. Ketidakseimbangan beban menyebabkan penjumlahan ketiga vektor arus ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ) tidak sama dengan nol, sehingga menyebabkan adanya arus netral

(IN). Dapat dilihat pada gambar 6 bahwa vektor arus dalam keadaan seimbang sehingga penjumlahan vektornya sama dengan nol dan tidak menimbulkan arus netral, sedangkan pada gambar 7 merupakan gambar diagram vektor arus yang tidak setimbang sehingga menimbulkan adanya arus netral.

Standar ANSI C84.1 – 1995 ketidak-seimbangan tegangan sistem tidak boleh melebihi 3% pada saat tidak dibebani, dan maksimal 6 % untuk sistem yang dibebani. Sedangkan ketidak-seimbangan arus dapat dikatakan baik apabila  $\leq 20$  %.

#### 4. Faktor Daya

PT. PLN (persero) selaku penyedia daya listrik memberikan batasan terhadap faktor daya, untuk bangunan gedung diberi batas sebesar 0.85. jika faktor daya rata-rata dibawah angka tersebut maka dikenakan denda Penalti oleh PLN. Penyebab faktor daya rendah pada suatu sistem jaringan listrik adalah beban induktif. Pada suatu rangkaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar  $90^0$  terhadap tegangan, perbedaan sudut fase ini yang akan menyebabkan faktor daya untuk mendekati nol. Beban-beban listrik yang menyebabkan rendahnya faktor daya antara lain motor induksi, unit-unit *ballast* dari lampu, dan alat-alat las busur listrik.

#### 5. Harmonik

Beberapa dokumen mengenai standar batasan harmonik pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan, diantaranya adalah standar IEEE 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC61000-3-6, dan lain lain. Standar IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI dan IEEE banyak digunakan di Amerika.

Mengenai standar yang digunakan pada penelitian ini adalah standar IEEE no 519 tahun 1992.

Nugroho S.S (2018) menyebutkan bahwa *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) adalah suatu lembaga internasional yang memiliki wewenang untuk melakukan riset dan penelitian dan ANALISIS untuk memberikan sebuah batas standar untuk dijadikan acuan referensi dalam bidang kelistrikan dan elektronika di beberapa negara.

Ewarld F. Fuchs dan Mohammad A.S. Masoum (2008) menerangkan bahwa IEEE 519-1992 adalah praktik dan persyaratan yang direkomendasikan untuk mengendalikan harmonik dalam sistem tenaga listrik dan IEEE-519 lebih komprehensif dibandingkan dengan standar IEC. Standar harmonik tegangan memiliki acuan berdasarkan nilai tegangan yang digunakan pada sebuah sistem, sedangkan untuk acuan harmonik arus adalah nilai perbandingan dari arus hubung singkat dengan arus yang bekerja pada beban.

Tabel 1 Batas Total Harmonic Distortion Tegangan

Nominal Voltage	IHD v	THD
$V \leq 69$ KV	3,0 %	5,0 %
$69$ KV $< V < 161$ KV	1,5 %	2,5 %
$V \geq 161$ KV	1,0 %	1,5 %

Tabel 2 Batas Total Harmonic Distortion arus

System voltage	I <sub>sc</sub> /I <sub>load</sub>	THD <sub>i</sub> (%)
V <sub>max</sub> ≤ 69 kV	< 20	5,0
	20-50	8,0
	50-100	12,0
	100-1000	15,0
	>1000	20,0
69 kV < V <sub>max</sub> ≤ 161 kV	< 20	2,5
	20-50	4,0
	50-100	6,0
	100-1000	7,5
	>1000	10,0
V <sub>max</sub> > 161 kV	< 50	2,5
	≥ 50	4,0

### B. Perhitungan Power losses akibat harmonik

Untuk menghitung power losses akibat harmonik pada penampang tiap fasa dan netral digunakan rumus berikut:

$$\Delta P_h = \sum_{k=1}^n R_{ph} \times I_{k_h}^2$$

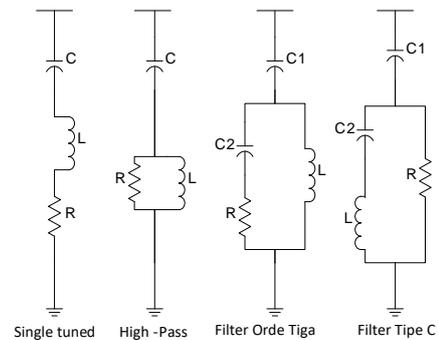
$\Delta P_R$  : Power Losses penghantar (watt)

$R_{ph}$  : Hambatan kabel (ohm)

$I_{k_h}^2$  : Nilai Harmonik orde ke-n pada penghantar

### C. Passive filter single tuned

Filter passive merupakan salah satu cara yg digunakan untuk memperbaiki masalah harmonisa. Filter pasif didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Salah satu filter pasif yang digunakan yaitu passive filter single tuned. Filter ini biasa digunakan pada tegangan rendah.



Gambar 1. Metrel MI 2892

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai filter passive single tuned.

#### 1. Spesifikasi Resistor

$$R = \frac{V}{I}$$

$$P = V \times I$$

Keterangan:

$R$  = Kapasitas Resistor ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan (V)

$I$

= Arus Harmonisa Orde ke - 3

$P$

= Kapasitas Daya Resistor (W)

#### 2. Q Faktor :

$$X_L = X_C = X_n$$

$$Q = \frac{X_n}{R}$$

$$X_n = Q \times R$$

Keterangan:

$X_L$

= Reaktansi Induktif ( $\Omega$ )

$X_C$

= Reaktansi Kapasitif ( $\Omega$ )

$Q$  = Kualitas Filter (30 - 100)

#### 3. Spesifikasi Induktor :

$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

Keterangan:

$L$   
 = Kapasitas Induktor Filter (H)

4. Spesifikasi Kapasitor:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C}$$

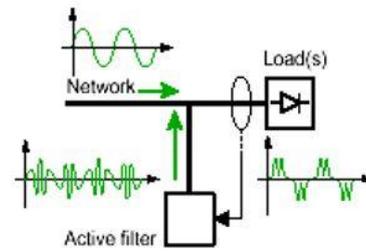
Keterangan:

$C$   
 = Kapasitas Capacitor Filter (F)

#### D. Aktif filter Harmonik

Salah satu upaya untuk meminimalisasi atau mengurangi harmonisa yaitu dengan penggunaan filter aktif. Filter aktif adalah sebuah filter yang tersusun dari komponen elektronika daya yang rangkaian utamanya adalah inverter dan rangkaian pengontrol, selain itu juga ada kapasitor dan induktor untuk memperbaiki output yang kurang stabil dari filter aktif. Filter aktif juga dapat meningkatkan faktor daya sistem dan juga tidak menghasilkan resonansi pada sistem. Konfigurasi penyusunan filter ini bisa secara seri ataupun paralel.

Penggunaan filter aktif mempunyai keuntungan dibandingkan filter pasif yaitu : Penguatan dan frekuensinya mudah diatur, selama devais elektronika transistor ataupun op amp masih memberikan penguatan dan sinyal input tidak sekaku seperti pada filter pasif. Pada dasarnya filter aktif lebih mudah diatur karena tidak ada masalah beban, karena tahanan input tinggi dan tahanan output rendah. Filter aktif tidak membebani sumber input.



Gambar 2. Filter Aktif (Active Filter)

Cara kerja dari filter aktif yaitu dengan menghasilkan harmonisa dari inverter. Harmonisa ini diatur sedemikian rupa oleh rangkaian kontrol elektronika yang berupa PID, limiter, dan komparator sehingga menghasilkan harmonisa yang nilainya sama dengan yang dihasilkan beban tetapi memiliki sudut fasa yang berbeda 180 derajat.

*Schneider Electric* (2008) Dalam menentukan filter aktif harmonisa dari *power analyzer data* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

Menghitung nilai  $X$  menjadi frekuensi arus fundamental

$$I_{RMS} = \sqrt{(1^2 + 0,2419^2)} * X$$

$$X = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{(1^2 + 0,2419^2)}}$$

Keterangan :

$$I_{RMS} = Arus_{RMS} (A)$$

$$0,2419 = Faktor\ safety$$

$$X = Frekuensi\ arus\ fundamental (A)$$

Menghitung nilai Harmonic current<sub>a</sub>

$$I_{RMS} = \sqrt{(X^2 + Harmonic\ Current_a^2)}$$

$$X^2 + Harmonic\ Current_a^2 = I_{RMS}^2$$

$$Harmonic\ Current_a^2 = I_{RMS}^2 - X^2$$

$$Harmonic\ current_a = \sqrt{I_{RMS}^2 - X^2}$$

Jika nilai THD % = 5 % ( nilai THD ini adalah nilai THD yang ingin kita capai dari penggunaan Iltar aktif ini, karena standar yang sudah ditentukan oleh IEEE 519-1992 yaitu pada range 50 s/d 100 Ampere, nilai THD dkategorikan baik apabila nilai THD ≤ 12 %).

$$I_{RMS} = \sqrt{X^2 + (THD * X)^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{X^2 + (5 \% * X)^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{X^2 + (0,05 * X)^2}$$

Menghitung nilai Harmonic current<sub>b</sub>

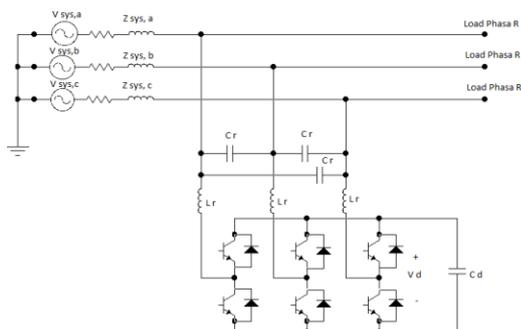
$$I_{RMS} = \sqrt{(X^2 + Harmonic Current_b^2)}$$

$$X^2 + Harmonic Current_b^2 = I_{RMS}^2$$

$$Harmonic Current_b^2 = I_{RMS}^2 - X^2$$

$$Harmonic current_b = \sqrt{I_{RMS}^2 - X^2}$$

Dengan demikian mengurangi THDi (THD arus) ketika masukannya sebesar 20 % dan diturunkan menjadi 5 % yang dibutuhkan yaitu (*Harmonic current a* dikurangi *Harmonic current b*). Setelah itu memilih salah satu ukuran PCS+ Aktif Filter Untuk mengurangi THDi (THD arus) ke level 5 % akan membutuhkan ukuran berapa sesuai perhitungan di atas. Schneider Electric PCS+ Aktif Filter tersedia dalam ukuran 60 A, 120 A, 200 A, dan 300 A.



Gambar 3. Metrel MI 2892

## E. Metodologi

Penelitian dilakukan dengan cara mengukur harmonisa di Main Distribution Panel gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan menggunakan alat ukur power quality and energy analyze merek Metrel MI 2892



Gambar 4. Metrel MI 2892

Pengukuran ini dilakukan selama 24 jam dengan interval 30 menit untuk mengetahui nilai harmonisa di gedung RSPAU Dr. S Hardjolukito

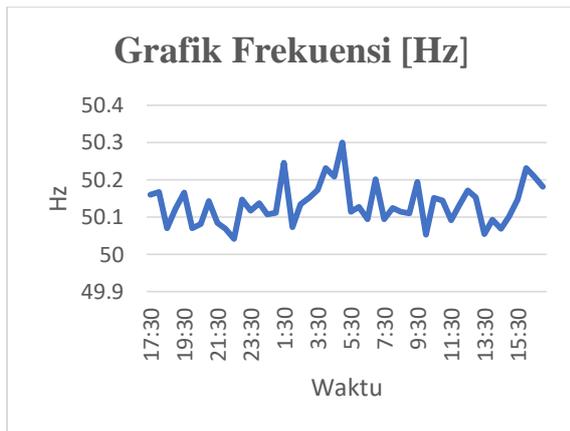
## F. Hasil Penelitian

### 1. Hasil Pengukuran

a. Pengukuran Frekuensi (Hz)

Tabel 3. Nilai Frekuensi

Panel	Frekuensi (Hz)	
LVMDP	Maksimum	Minimum
	50,3	50,042



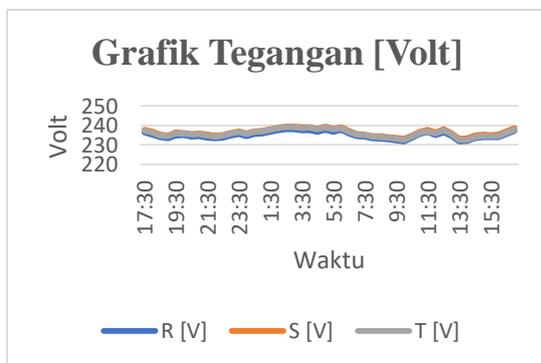
Gambar 5. Grafik Frekuensi

Hasil pengukuran frekuensi pada nilai maksimal dan minimal masih masuk dalam toleransi mengacu pada “Standar peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral no.37 tahun 2008 Frekuensi nominal 50 Hz dan tidak lebih rendah dari 49,5 Hz dan lebih tinggi dari 50,5 Hz.

b. Pengukuran Tegangan (Volt)

Tabel 4. Nilai Tegangan

Panel	Tegangan (Volt)		
LVMDP	Maksimum		
	R	S	T
	237,963	239,464	239,182
	Minimum		
	R	S	T
	231,781	232,961	232,502



Gambar 5. Grafik Tegangan

Hasil pengukuran tegangan pada panel LVMDP dapat dikatakan baik mengacu pada “Permen ESDM No. 4 Tahun 2009 tentang Aturan Distribusi

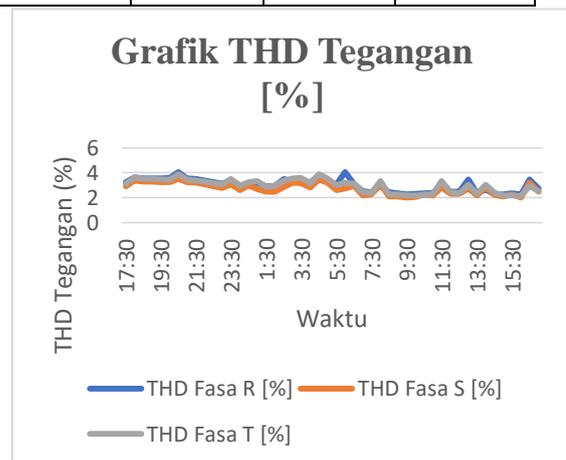
Tenaga Listrik. Batasan Titik Sambung untuk Konsumen Tegangan antar fasa yaitu 400 Volt sedangkan tegangan fasa dengan netral yaitu 230 V merupakan tegangan nominal 400V antar fasa dan 230 V fase ke netral. Dengan Batas +5% maksimal antar fasa yaitu 420 Volt sedangkan fasa dengan netral yaitu 241,5 V tegangan minimal -10% antar fasa yaitu 360 Volt sedangkan fasa dengan netral yaitu 207 Volt”

c. Total Harmonik Distortion

Tegangan (%)

Tabel 5. Nilai THD Tegangan

Panel	THD (%)		
LVMDP	Maksimum		
	R	S	T
	4,067	3,49	3,889
	Minimum		
	R	S	T
	2,237	1,993	2,121



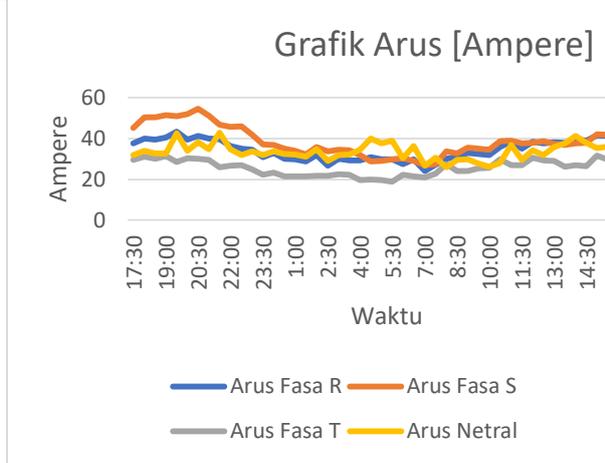
Gambar 5. Grafik THD Tegangan

Hasil pengukuran THD tegangan pada kondisi minimal dan maksimal pada panel LVMDP dikatakan baik mengacu pada Standar IEEE 519-1992 dijelaskan batas Total Harmonik Distortion tegangan. Suplay tegangan  $\leq 69$  kV nilai THD dikatakan baik apabila hasil pengukuran  $\leq 5\%$ .

d. Pengukuran Arus (Ampere)

Tabel 5. Nilai Arus

Panel	arus (Ampere)			
LVMDP	Maksimum			
	R	S	T	N
	43,32	54,57	31,5	42,75
	Minimum			
	R	S	T	N
	24,14	26,97	18,78	26,2



Gambar 5. Grafik Arus

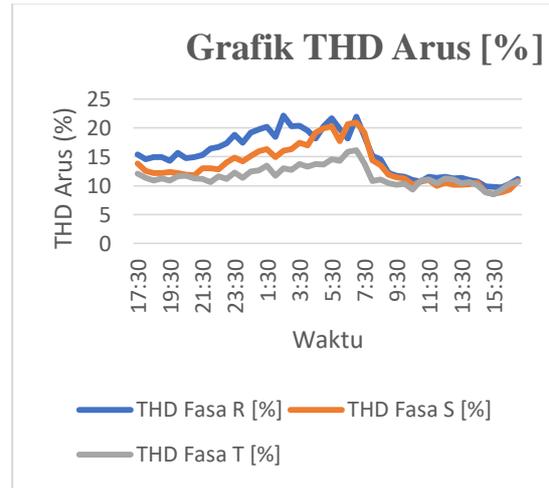
Hasil pengukuran arus pada panel LVMDP terjadi ketidak seimbangan beban antara fasa R, fasa S, dan fasa T dengan indikasi terdapat arus pada penghantar netral.

e. Total Harmonik Distortion Arus

(%)

Tabel 5. Nilai THD arus

Panel	THD (%)		
LVMDP	Maksimum		
	R	S	T
	42,16	20,92	16,141
	Minimum		
	R	S	T
	9,72	8,55	8,509



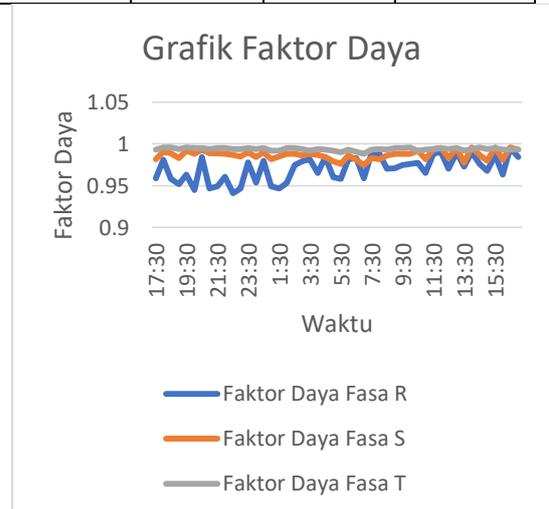
Gambar 5. Grafik THD Arus

Hasil pengukuran THD arus pada panel LVMDP kondisi minimal dan maksimal terlihat pada tabel diatas yang warna merah merupakan nilai THD arus yang sudah melewati batas toleransi, mengacu pada “Standar IEEE 519-1992 dijelaskan batas Total Harmonik Distortion Arus. Dengan Isc 50-100 maka nilai THD dikatakan baik apabila hasil pengukuran  $\leq 15\%$ ”.

f. Faktor Daya

Tabel 5. Nilai Faktor Daya

Panel	Faktor Daya		
LVMDP	Maksimum		
	R	S	T
	0,995	0,996	0,996
	Minimum		
	R	S	T
	0,941	0,975	0,988



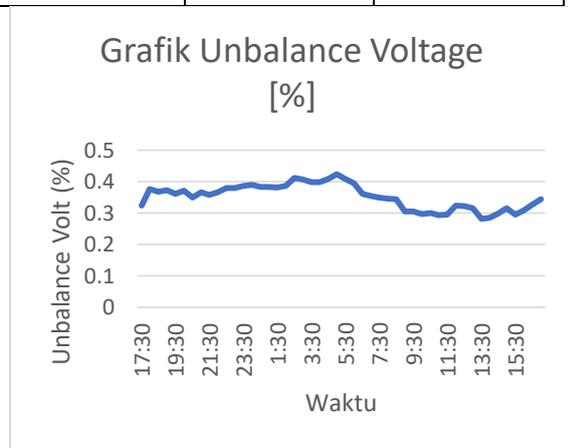
Gambar 5. Grafik Faktor Daya

Hasil pengukuran faktor daya pada panel LVMDP dapat dikatakan baik, mengacu pada “PT. PLN (persero) selaku penyedia daya listrik memberikan batasan terhadap faktor daya, untuk bangunan gedung diberi batas minimal sebesar 0,85. jika faktor daya rata-rata dibawah angka tersebut maka dikenakan denda Penalti oleh PLN”.

g. *Unbalance* Tegangan

Tabel 5. Nilai *Unbalance* Tegangan

Panel	<i>Unbalance</i> Tegangan	
LVMDP	Maksimum	Minimum
	0,424	0,282



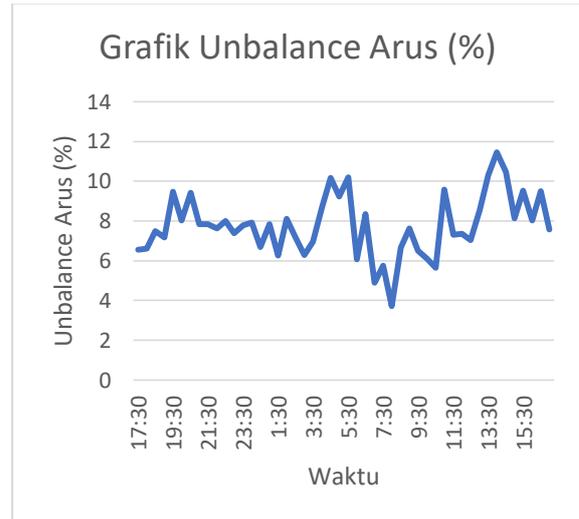
Gambar 5. Grafik *Unbalance* Tegangan

Hasil pengukuran *unbalance voltage* pada panel LVMDP, dapat dikatakan baik mengacu pada “Standar ANSI C84.1 – 1995 *Unbalance* tegangan sistem tidak boleh melebihi 3% pada saat tidak dibebani, dan maksimal 6 % untuk sistem yang dibebani”.

h. *Unbalance* Arus

Tabel 5. Nilai *Unbalance* Arus

Panel	<i>Unbalance</i> Arus	
LVMDP	Maksimum	Minimum
	11,464	3,708



Gambar 5. Grafik *Unbalance* Arus

Hasil pengukuran *unbalance* arus pada panel LVMDP kondisi minimal maupun kondisi maksimal dapat dikatakan baik bisa dilihat tabel diatas nilai tidak *Unbalance* Arus melewati batas yang telah ditentukan, mengacu pada “Standar ANSI C84,1-1995 *Unbalance* arus dapat dikatakan baik apabila  $\leq 20\%$ ”.

i. Parameter Kualitas Daya Pada Gedung RSPAU Dr, S Hardjolukito

Tabel 5. Parameter Pada saat kondisi Maksimum

No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral	Standar	Keterangan
1	Frekuensi [Hz]	50,3				50,5	Baik
2	Tegangan L-N [Volt]	237,963	239,464	239,182	--	241,5	Baik
3	THD Tegangan [%]	4,067	3,48	3,889	--	$\leq 5\%$	Baik
4	Arus [Ampere]	43,32	54,57	31,5	42,75	seimbang	Kurang Baik
5	THD Arus [%]	22,16	20,92	16,141	--	$\leq 12\%$	Kurang Baik
6	Daya Aktif [kW]	11,305	14,217	9,161	--	--	Baik
7	Daya Reaktif [kVAR]	3,647	2,457	1,105	--	--	Baik
8	Daya Semu [kVA]	10,161	12,839	7,367	--	--	Baik
9	Faktor Daya	0,995	0,996	0,996	--	0,85	Baik
10	<i>Unbalance</i> Voltage [%]	0,424				$\leq 6\%$	Baik
11	<i>Unbalance</i> Arus [%]	11,464				$\leq 20\%$	Baik



Tabel 6. Parameter Pada saat kondisi Minimum

No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral	Standar	Keterangan
1	Frekuensi [Hz]	50,042				49,5	Baik
2	Tegangan L-N [Volt]	231,781	232,961	232,502	--	207	Baik
3	THD Tegangan [%]	2,237	1,993	2,121	--	≤ 5 %	Baik
4	Arus [Ampere]	24,14	26,97	18,78	26,2	seimbang	Kurang Baik
5	THD Arus [%]	9,72	8,55	8,509	--	≤ 12%	Baik
6	Daya Aktif [kW]	7,359	7,796	6,045	--	--	Baik
7	Daya Reaktif [kVAR]	1,922	1,11	0,508	--	--	Baik
8	Daya Semu [kVA]	5,601	6,314	4,41	--	--	Baik
9	Faktor Daya	0,941	0,975	0,988	--	0,85	Baik
10	Unbalance Voltage [%]	0,282				≤ 6 %	Baik
11	Unbalance Arus [%]	3,708				≤ 20 %	Baik

## 2. Hasil Analisis dan Perhitungan

a. Menghitung Power Losses Akibat Harmonik

Tabel 7. Arus Harmonik Pada Panel LVMDP

Orde	R	S	T	N
1	52,36	65,84	41,70	63,83
3	6,174	6,358	4,283	24,53
5	4,935	6,985	5,264	8,129
7	3,418	4,656	3,055	4,295
9	4,729	2,790	1,646	11,57
11	4,041	3,749	2,492	3,144
13	5,732	4,265	3,677	3,077
15	3,216	2,624	1,614	4,511
17	2,649	2,111	1,754	2,607
19	2,356	2,954	2,878	2,467
21	2,060	1,475	1,400	3,193
23	1,808	1,046	0,785	1,669
25	1,374	1,047	0,850	1,425
27	1,199	0,829	1,058	1,805
29	1,098	0,636	0,581	1,344
31	0,842	0,679	0,565	1,075
33	0,765	0,680	0,612	0,954

35	0,686	0,731	0,686	0,785
37	0,579	0,645	0,624	0,801
39	0,502	0,496	0,490	0,673
41	0,440	0,566	0,387	0,686
43	0,431	0,630	0,339	0,528
45	0,436	0,596	0,383	0,539
47	0,413	0,589	0,375	0,481
49	0,399	0,495	0,380	0,405

Berikut adalah Perhitungan mencari *Power Losses* fasa R:

$$\Delta P_R = \sum_{k=1}^n R_{ph} \times I_{kR}^2$$

$$\begin{aligned} \Delta P_R = & (0,002295 \times 52,36^2) \\ & + (0,002295 \times 6,174^2) \\ & + (0,002295 \times 4,935^2) \\ & + (0,002295 \times 3,418^2) \\ & + (0,002295 \times 4,729^2) \\ & + (0,002295 \times 4,041^2) \\ & + (0,002295 \times 5,732^2) \\ & + (0,002295 \times 3,126^2) \\ & + (0,002295 \times 2,649^2) \\ & + (0,002295 \times 2,356^2) \\ & + (0,002295 \times 2,060^2) \\ & + (0,002295 \times 1,808^2) \\ & + (0,002295 \times 1,374^2) \\ & + (0,002295 \times 1,199^2) \\ & + (0,002295 \times 1,098^2) \\ & + (0,002295 \times 0,842^2) \\ & + (0,002295 \times 0,765^2) \\ & + (0,002295 \times 0,686^2) \\ & + (0,002295 \times 0,579^2) \\ & + (0,002295 \times 0,502^2) \\ & + (0,002295 \times 0,440^2) \\ & + (0,002295 \times 0,431^2) \\ & + (0,002295 \times 0,436^2) \\ & + (0,002295 \times 0,413^2) \\ & + (0,002295 \times 0,399^2) \end{aligned}$$

= 6,71 Watt

Dengan rumus yang sama didapat power losses sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Total *Power Losses*

Fasa R (Watt)	Fasa S (Watt)	Fasa T (Watt)	Netral (Watt)	Total (Watt)
6,71	10,36	3,22	11,31	31,6

Jadi dari hasil perhitungan didapatkan nilai power losses sebesar 31,6 Watt atau

0,0316 kW

b. Menghitung kerugian akibat

*Power Losses*

Untuk mengetahui kerugian yang diperoleh oleh konsumen yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban dan harmonisa, maka perlu dicari kerugian per-hari, per-bulan, dan per-tahun. Jika diasumsikan setiap bulan adalah 30 hari, maka kerugian yang diperoleh adalah Tabel 9. Nilai Kerugian akibat *power losses*

Besar Power Losses ( $\Delta P$ ) [kW]	0,03160426
Besar Power Losses perhari ( $\Delta P \times 24$ ) [kW]	0,75850224
Biaya akibat Power Losses perhari ( $\Delta P$ perhari X Rp 1.036)	Rp 785,82
Biaya akibat Power Losses perbulan	Rp 23.574,25
Biaya akibat Power Losses pertahun	Rp 282.890,99

c. Perbaikan Harmonisa dengan Pasif Filter *Single Tuned*

Filter Pasif *Single Tuned* berfungsi untuk meredam harmonisa dengan mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan pada sistem tenaga listrik. Filter ini dapat digunakan untuk meredam arus harmonik pada satu orde saja, oleh karena itu harus dipilih orde yang mengalami distorsi paling besar. Pemilihan orde harmonik diambil dari THD arus paling besar, yaitu pada pengukuran orde ke-3.

Tabel 10. Nilai arus harmonik orde ke-3

Orde 3	
Fasa	Harmonisa (%)
Fasa R	24,81

Fasa S	67,59
Fasa T	145,3

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa harmonisa terbesar berada pada orde ke-3, jadi orde yang akan diperbaiki oleh filter adalah orde ke-5 dengan frekuensi orde sebesar 250 Hz. dan berikut adalah perhitungan nilai filter pasife single tuned yang akan digunakan untuk meredam harmonik:

- Spesifikasi Resistor

Diketahui nilai maksimum arus harmonisa pada orde ke-3 yaitu 6,358 Ampere, dan tegangan kerja pada panel yaitu 380 V.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{380 \text{ V}}{6.358 \text{ A}}$$

$$R = 59,77 \Omega$$

$$P = V \times I$$

$$P = 380 \text{ V} \times 6,358 \text{ A}$$

$$P = 2416,04 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui, nilai resistor yang digunakan yaitu 59,77  $\Omega$  dan rating daya nya yaitu 2416,04 watt.

- Q Faktor :

Diketahui nilai Q faktor yaitu 30-100. Maka nilai yang diilih 30.

$$X_L = X_C = X_n$$

$$Q = \frac{X_n}{R}$$

$$X_n = Q \times R$$

$$X_n = 30 \times 59,77$$

$$X_n = 1793,1 \Omega$$

- Spesifikasi Induktor :

Frekuensi *tunning* pada harmonisa ke-3 yaitu 150 Hz. Namun agar kerja filter mencapai peforma maksimal, diberi nilai toleransi sehingga frekuensi *tunning* yaitu 145 Hz.

$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{1793,1}{2 \times 3,14 \times 145}$$

$$L = 1,97 \text{ H}$$

Dari perhitungan diatas diketahui, nilai induktor yaitu 1,97 H

- Spesifikasi Kapasitor:

Frekuensi *tunning* pada harmonisa orde ke-3 yaitu 150 Hz. Namun agar kerja filter mencapai peforma maksimal, diberi nilai toleransi sehingga frekuensi *tunning* yaitu 145 Hz.

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C}$$

$$C = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 145) 1793,1}$$

$$C = 6,12 \times 10^{-7} F$$

Dari perhitungan diatas diketahui, nilai kapasitor yaitu  $6,124 \times 10^{-7} F$ .

c. Perbaikan Harmonisa dengan Aktif filter harmonik

Salah satu upaya untuk meminimalisasi atau mengurangi harmonisa selain menggunakan Filter *Pasif Single Tuned* yaitu dengan penggunaan filter aktif. Untuk merancang filter ini maka sebelumnya harus diketahui dulu atau ditemukan dulu permasalahan yang ada pada sistem yang ingin diteliti, salah satunya harus diketahui nilai THDi (THD Arus) pada sistem yang diamati.

Tabel 11. Nilai THD arus maksimum

Panel	THD arus		
	R	S	T
LVMDP	22,16	20,92	16,141

Berikut adalah analisa perhitugan untuk menentukan aktif filter harmonik:

- Menghitung nilai  $X$  menjadi frekuensi arus fundamental

$$I_{RMS} = \sqrt{(1^2 + 0,2419^2)} * X$$

$$1000 = \sqrt{(1^2 + 0,2419^2)} * X$$

$$X = \frac{1000}{\sqrt{(1^2 + 0,2419^2)}}$$

$$X = \frac{1000}{1,02884}$$

$$X = 971,97 A$$

- Menghitung nilai *Harmonic current<sub>a</sub>*

$$I_{RMS} = \sqrt{(X^2 + \text{Harmonic Current}_a^2)}$$

$$1000$$

$$= \sqrt{(971,97^2 + \text{Harmonic Current}_a^2)}$$

$$971,97^2 + \text{Harmonic Current}_a^2$$

$$= 1000^2$$

$$944725,68 + \text{Harmonic Current}_a^2$$

$$= 1000000$$

$$\text{Harmonic Current}_a^2$$

$$= 1000000$$

$$- 944725,68$$

$$\text{Harmonic Current}_a^2$$

$$= 55274,32 A$$

$$\text{Harmonic current}_a$$

$$= \sqrt{55274,32} A$$

$$\text{Harmonic current}_a = 235,1 A$$

Jika nilai THD % = 5 % ( nilai THD ini adalah nilai THD yang ingin kita capai dari penggunaan fillter aktif ini, karena standar yang sudah ditentukan oleh IEEE 519-1992 yaitu pada range 50 s/d 100 Ampere, nilai THD dkategorikan baik apabila nilai THD  $\leq 12$  %).

$$I_{RMS} = \sqrt{X^2 + (\text{THD} * X)^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{971,97^2 + (5\% * 971,97)^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{(944725,68 + (0,05 * 971,97)^2)}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{(944725,68 + 2361,81)}$$

$$I_{RMS} = 973,18$$

- Menghitung nilai *Harmonic current<sub>b</sub>*

$$I_{RMS} = \sqrt{(X^2 + \text{Harmonic Current}_b^2)}$$

$$X^2 + \text{Harmonic Current}_b^2 = I_{RMS}^2$$

$$971,92^2 + \text{Harmonic Current}_b^2 = 973,18^2$$

$$\begin{aligned} \text{Harmonic Current}_b^2 &= 973,18^2 \\ &- 971,97^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harmonic Current}_b^2 &= 947079,31 \\ &- 944725,68 \end{aligned}$$

$$\text{Harmonic Current}_b^2 = 2353,63 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Harmonic current}_b &= \sqrt{2353,63} \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Harmonic current}_b = 48,51 \text{ A}$$

Dengan demikian dari perhitungan di atas untuk mengurangi THDi (THD arus) ketika masukannya sebesar 22,16 % dan

diturunkan menjadi 5 % yang dibutuhkan yaitu :

$$\begin{aligned} &\text{Harmonic current}_a \\ &- \text{Harmonic current}_b \end{aligned}$$

$$235,1 \text{ A} - 48,51 \text{ A} = 186,59 \text{ A}$$

Jadi untuk mengurangi THD (THD arus) membutuhkan 186,59 Ampere. Setelah diketahui berapa arus yang dibutuhkan maka selanjutnya adalah memilih salah satu ukuran PCS+ Aktif Filter Harmonik untuk mengurangi THDi (THD arus) ke level 5 % akan membutuhkan ukuran berapa sesuai perhitungan di atas. *Schneider Electric* PCS+ Aktif Filter Harmonik tersedia dalam ukuran 60 A, 120 A, 200 A, dan 300 A. Maka dari perhitungan di atas memerlukan *Schneider Electric* PCS+ Aktif Filter Harmonik ukuran 200 A yang akan dipasang pada panel LVMDP sistem kelistrikan RSPAU Dr. S Hardjolukito Yogyakarta.

## G. Kesimpulan

Setelah melakukan pengukuran dan analisa kualitas daya listrik berupa : Frekuensi, Tegangan, *Total Harmonic Distortion Voltage*, Ketidakseimbangan Tegangan / *Unbalanced Voltage*, Arus, *Total Harmonic Distortion Current*, Ketidakseimbangan Arus / *Unbalanced Current*, Faktor Daya, Daya Semu, Daya Nyata, dan. Daya Reaktif. Pengukuran

dilakukan pada panel LVMDP di gedung pelayanan kesehatan RSPAU Dr. S Hardjolukito pada tanggal 10 Mei 2019 dapat ditarik kesimpulan :

1. “Apabila jumlah phasor dari ketiga tegangan adalah sama dengan nol, maka dengan jumlah phasor dari arus pada ketiga fase juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ketiga fase tidak sama, maka jumlah phasor dan arus netralnya (In) tidak sama dengan nol dan beban dikatakan tidak seimbang”. Hasil pengukuran terjadi ketidak seimbangan beban pada panel LVMDP yang dibuktikan dengan adanya arus pada Netral yang mengalir dengan nilai minimal sebesar 26,2 Ampere dan nilai maksimal sebesar 44,75 Ampere.

2. Dari hasil pengukuran *Unbalanced* arus yang telah dilakukan telah memenuhi karena sesuai dengan standar ANSI C84.1-1995 yaitu ketidak seimbangan arus dikatakan baik apabila nilai unbalance arus  $\leq 20\%$ .

3. Pada hasil pengukuran *Unbalanced Voltage* memenuhi standar karena sesuai dengan standar ANSI C84.1-1995 yaitu ketidak seimbangan tegangan sistem tidak boleh melebihi 3% pada saat tidak berbeban dan maksimum 6% pada saat berbeban.

4. Nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada panel LVMDP kurang baik karena sesuai standar IEEE 519-1992, arus pada range 50-100 Ampere nilai THD dikategorikan baik apabila hasil pengukuran  $\leq 12\%$ . Hasil pengukuran THD arus didapatkan pada nilai maksimum sebesar 22,165 pada fasa R, 20,92% pada S, dan 16,141% pada fasa T. Namun pada nilai minimum nilai THD arus yang terukur masih baik karena dibawah batas standar yang ditetapkan 12%

5. Hasil pengukuran Nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan pada panel LVMDP telah memenuhi standar yang sesuai dengan batas standar IEEE 519-1992 sebesar  $\leq 5\%$ .

7. Untuk mengurangi THD (*Total Harmonic Distortion*) dapat dipasang Filter Pasif *single tuned* untuk meredam harmonisa pada orde dengan nilai presentase tertinggi yaitu pada orde ke-3. Spesifikasinya adalah

<b>Filter Pasif <i>Single Tuned</i> orde ke-3</b>	
<b>Keterangan</b>	<b>Ukuran Spesifikasi</b>
$X_c = X_L$	1793,1 $\Omega$
R	59,77 $\Omega$
P	2416,04 Watt
L	1,97 H
C	$6,12 \times 10^{-7}$ F

8. Untuk mengurangi THD (*Total Harmonic Distortion*) dapat dipasang juga PCS+ Filter aktif harmonik dari *Schneider Electric* untuk mengurangi THD arus ke level 5 % akan membutuhkan ukuran sesuai perhitungan.

$$\text{Harmonic current}_a - \text{Harmonic current}_b$$

$$235,1 A - 48,51 A = 186,59 A$$

*Schneider Electric* PCS+ Aktif Filter Harmonik tersedia dalam ukuran 60 A, 120 A, 200 A, dan 300 A. Maka dari perhitungan yang dilakukan memerlukan *Schneider Electric* PCS+ Aktif Filter Harmonik ukuran 60 A sebanyak 3 unit yang akan dipasang pada panel LVMDP sistem kelistrikan RSPAU Dr. S Hardjolukito Yogyakarta.

#### **Daftar Pustaka**

- Antono, Djodi, Adi Wasono, dan Lukas Joko Dwi Atmanto. 2013. "Harmonisa Arus dan Tegangan Pada Jaringan Listrik Akibat Pembebanan Air Condition (AC) Inverter Tiga Fasa." *Polines* 513-525.
- Budi, Bimasakti Mahardika. 2017. "Audit Energi dan Sistem Pencahayaan Gedung D Universitas Muhammadiyah Yogyakarta." Tugas Akhir UMY: Yogyakarta.
- Dewy, Silvia M. 2011. *Managemen Energi Listrik*. Universitas Negeri Padang. Sumatra Barat.
- Ghifari, Syauqi Al. 2015. "Audit Energi Listrik di Rumah Sakit." Tugas Akhir UMY: Yogyakarta.
- Husniwardana. 2012. *Gangguan Dalam Power Quality*. Institut Teknologi Bandung. Jawa Barat.
- Juniawan, Adha Rizki, Wasimudin Surya S, dan Dadang Lukman Hakim. 2014. "Perancangan dan Simulasi Filter Aktif 3 Fasa Untuk Mereduksi Harmonisa Akibat Penggunaan Beban Non Linear." *ELECTRANS* 99-106.
- Kusmantoro, Adhi, dan Agus Nuwolo. 2015. "Identifikasi Kualitas Daya Listrik Gedung Universitas PGRI Semarang." Prosiding SNST 1-7.
- Makmur, Azhar Zahar. 2016. "ANALISIS Pembebanan Genset di Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta." Tugas Akhir UMY: Yogyakarta.

- Nugroho, Slamet Supriyo. 2018. *Analisis Harmonik Arus dan Tegangan Pada Gedung AR Fachrudin B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Skripsi: Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor: 37 Tahun 2008, Tentang *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik*.
- PLN. 2012. *Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker dan Ketidakseimbangan Tegangan)*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Putra, Yudi Adriko, dan Edy Ervianto. 2016. "Pengaruh Beban Nonlinear Terhadap Keberadaan Arus Netral Di Gedung Pusat Komputer Universitas Riau." *JOM FTEKNIK* 1-8
- Rizal, Hamdani M. 2007. *Kualitas Daya listrik Industri*. Universitas Indonesia. Jawa Barat.
- Safe'i, Muhammad. 2018. "ANALISIS Evaluasi Kapasitas Genset Sebagai Sistem *back-up* Energi Listrik di Gedung Jogjatronik Mall." Yogyakarta
- Sari, Tri Novita. 2017. *Audit Energi Untuk Efisiensi Listrik di Blok A Gedung Keuangan Negara Yogyakarta*. Sripsi: Yogyakarta.
- Schneider Electric* 2018. *ETSNZ How to size Active harmonic filtering from power analyser data*
- Standar IEEE 519-1992 . *Batas Total Harmonik Distortion Tegangan dan Arus*.
- Standar ANSI C84.1 – 1995. *Ketidakseimbangan Tegangan dan Arus*
- Sugiarto, Hadi. 2012. "Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak." *Vokasi* 80-89.
- Sumarno, Edy, dan Syaiful Bakhri. 2014. "Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Harmonisa Pada Variable Speed Drive Tiga Fasa." *Sigma Epsilon* Vol 18. No 3-4 78-88.
- Wijayanto, Dimas Bangkit. 2108. "Audit Energi gedung G5 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta." Tugas Akhisdr UMY: Yogyakarta.
- Yudha, Marta H. 2017. *Kualitas Daya Listrik Pengaruh Dan Penanganannya*. Universitas Tridinanti. Palembang.