

RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM KUALITAS DAYA LISTRIK PADA SIMULATOR RUMAH TINGGAL 450 VA



Heri Budi Utomo¹

¹Politeknik Negeri Bandung

²Teknik Elektro

hbu@polban.ac.id

ABSTRAK

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini perkembangan teknologi termasuk peralatan listrik berbasis elektronik mengalami perkembangan pesat. Peralatan tersebut banyak dijumpai bangunan gedung dan industri sampai dengan rumah tinggal yang pada umumnya merupakan beban arus listrik bolak (AC/Alternating Current) yang mencakupi beban linier dan beban non linier. Dampak pemakaian beban non linier dapat menyebabkan turunya kualitas daya listrik dan dapat menyebabkan memperpendek usia peralatan listrik. Dengan diterapkannya kurikulum baru kampus merdeka di program studi teknik listrik jurusan teknik elektro Politeknik Negeri Bandung, menyebabkan mata kuliah baru yang terdapat pada kurikulum tersebut, yaitu Kualitas Daya Listrik, harus dilaksanakan. Dengan dibuatnya simulator modul praktikum kualitas daya listrik pada rumah tinggal dapat menunjang proses belajar mengajar. Tujuan penelitian adalah rancang bangun dan pengujian modul praktikum kualitas daya listrik rumah tinggal. Metode penelitian menggunakan metode eksperimen. Hasil penelitian untuk beban nonlinier, beban campuran 1 dan beban campuran 2 mempunyai nilai THDi dan TDD melebihi standar IEEE No. 19 tahun 2014 serta mempunyai nilai True PF lebih kecil dari Distortion PF. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sistem kelistrikan pada simulator rumah tinggal kualitas daya listrik jelek, sehingga diperlukan filter pasif atau filter aktif untuk memperbaiki kualitas daya listrik pada simulator rumah tinggal.

Kata Kunci : Harmonik, Beban non linier, faktor daya

ABSTRACT

Technological developments, including electronic-based electrical equipment, have experienced rapid development in the last ten years. This equipment is found in buildings and industrial buildings as far as residential homes, generally alternating current (AC/Alternating Current) loads, including linear and nonlinear loads. The use of nonlinear loads causes a decrease in the quality of electrical power and shortens the life of electrical equipment. The new implementation of curriculum, Kampus Merdeka, in the electrical engineering study program majoring in electrical engineering, Bandung State Polytechnic, a new course in the curriculum, namely Electrical Power Quality, must be implemented. Creating a practical module simulator for electrical power quality in residential homes is necessary to support the teaching and learning process. This study aims to design and test the quality practice model of residential electrical power. The research method is using experimental methods. The result of this study for nonlinear loads, mixed load one and mixed load 2, have THDi and TDD values exceeding IEEE standard No. 19 of 2014 and have a True PF value smaller than Distortion PF. It shows that the electrical power quality of the residential simulator's electrical system is poor, so a passive filter or active filter is needed to improve the quality of electrical power in the residential simulator.

Keywords: Harmonics, non-linear loads, power factor

1. Pendahuluan

Pada umumnya rumah tinggal mendapatkan sumber listrik melalui jaringan distribusi tegangan rendah dari transformator daya distribusi tenaga listrik PLN. Sumber listrik tersebut untuk

menyuplai peralatan listrik. Ada dua jenis peralatan listrik yang terdapat pada rumah tinggal yang mencakupi peralatan listrik yaitu pertama mencakup lampu pijar, pompa listrik tanpa konverter, strika, *air condition* tanpa inverter (konverter DC-AC) dan beban non linier yang mencakupi lampu LHE, TL

Ballast Elektronik, LED, *Air Condition* dengan inverter (konverter DC-AC). Lampu LED memiliki harmonik yang paling besar, jika dibandingkan dengan lampu LHE dan TL ballast elektronik (Siahaan et al., 2020; Silalahi et al., 2021). Alternatif untuk menekan harmonik lampu LED dapat dikombinasikan lampu LH dan LHE (Pahiyanti & Soewono, 2015).

Beban AC khususnya beban non linier akan mempengaruhi kualitas daya listrik karena beban non-linier pada rumah tinggal menarik arus non- sinusoidal semakin meningkat dari hari ke hari (Au et al., 2010). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa sebagian besar peralatan rumah tinggal yang mencakup *air conditioning* (AC) dengan *inverter*, Televisi (TV), Lampu Fluoresen Kompak (CFL), Komputer Pribadi (PC) dan pengisi baterai Hp yang berbeda menggunakan fenomena yang menghasilkan distorsi harmonik (Hardie S, 2010)).

Distorsi harmonik dapat digambarkan sebagai produksi komponen frekuensi yang tidak diinginkan sebagai kelipatan bilangan bulat dari komponen frekuensi dasar (Farooq et al., 2013). Distorsi Harmonik Total (THD) merupakan rasio kandungan harmonik terhadap kuantitas dasar, dinyatakan dalam persentase digunakan untuk menghitung polusi harmonik adalah (De Capua & Romeo, 2007). Peralatan elektronik merupakan peralatan sebagai sumber harmonisa karena didalam peralatan tersebut terdapat penyearah/konverter, (Au et al., 2010).

Beban non-linier, seperti elektronika daya menimbulkan harmonisa ke dalam sistem tenaga, kualitas daya sistem akan terpengaruh (Roy et al., 2020).

Penggunaan beban-beban non linier pada sistem tenaga listrik tegangan rendah dapat menimbulkan distorsi pada bentuk gelombang sinus/gelombang sinus cacat (harmonisa). Beban non-linier ini dimodelkan sebagai sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem (Widia et al., n.d.) Gangguan harmonisa tergolong kedalam Distorsi Bentuk Gelombang (Dugan, 1996).

Berdasarkan dari urutan ordenya harmonisa dapat dibedakan menjadi

harmonisa ganjil dan harmonisa genap, dimana harmonisa ganjil adalah harmonisa ke 1, 3, 5, 7, 9 dan seterusnya (Llc, 2002).

Dalam penelitian ini melakukan Rancang Bangun Modul Praktikum Kualitas daya listrik simulator Rumah Tinggal 450 VA Hal ini dilakukan dalam rangka implementasi kurikulum kampus merdeka untuk menunjang mata kuliah Kualitas daya listrik, dimana kurikulum tersebut dilaksanakan mulai semester genap tahun ajaran 2023/2024 (Hardie S, 2010).

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kualitas Daya Listrik

Penyedia sumber listrik dan pengguna listrik berkeinginan adanya sistem kelistrikan yang normal dimana bentuk gelombang arus dan tegangan dalam batas normal sesuai regulasi yang berlaku (Widia et al., n.d.) Dalam menjaga mutu pelayanan listrik pihak penyedia sumber listrik selalu menjaga bentuk gelombang tegangan dan arus tidak cacat gelombangnya yaitu mempertahankan tetap berupa gelombang sinusoidal sesuai dengan besarnya pada frekuensi dasar pada sistem distribusi daya listrik (Farooq et al., 2013).

Kualitas daya listrik merujuk pada sejauh mana daya listrik memenuhi standar atau spesifikasi yang diinginkan dalam penggunaan yang diinginkan (Amalia & Nazir, 2015). Meningkatkan kualitas pasokan listrik di sisi konsumen listrik dengan memanfaatkan teknologi dan peralatan pengendalian kualitas listrik, (Luo et al., 2016).

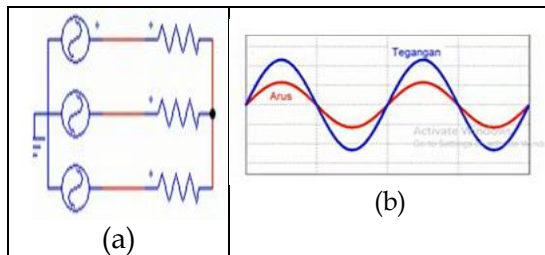
Masalah daya apa pun yang dapat berkembang dalam tegangan, arus, atau penyimpangan frekuensi yang mengakibatkan kegagalan atau kesalahan pengoperasian peralatan pelanggan (Dugan, 1996).

Kualitas daya listrik pada sistem daya listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya mencakup sebagai berikut Transient tegangan, Gangguan (*interruption*), Penurunan Tegangan (*sag*), Kenaikan Tegangan (*Swell*), Distorsi Bentuk Gelombang (Harmonik), Fluktuasi Tegangan dan Variasi Frekuensi, (Pahiyanti & Soewono, 2015).

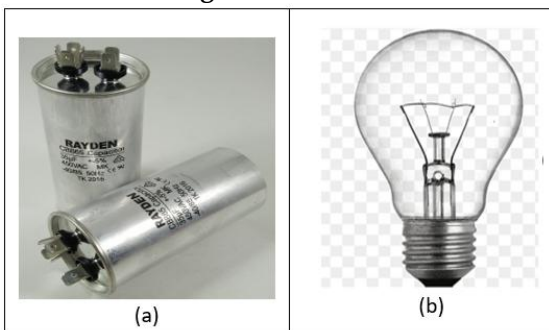
2.2. Beban Linier

Beban arus bolak-balik / *alternating current* (AC) disebut linier atau non-linier tergantung cara beban tersebut menarik arus dari bentuk gelombang sumber listrik. Dengan beban linier, hubungan antara bentuk gelombang tegangan dan arus adalah sinusoidal dan arus setiap saat sebanding dengan tegangan). Rangkain beban linier dapat dilihat pada

gambar 1.a dan bentuk gelombang sinus AC dapat dilihat pada gambar 1.b. Contoh beban linier diantaranya mencakup kapasitor, dan lampu pijar dapat dilihat pada gambar 2.a dan 2.b



Gambar 1.a. Rangkaian Beban Linier dan 1.b. Gelombang Sinus AC Beban Linier

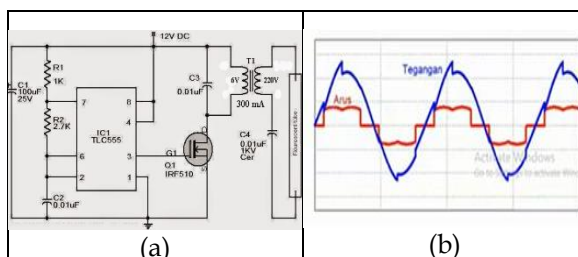


Gambar 2.a Kapasitor dan 2.b Lampu pijar

2.3 Beban Non-Linier

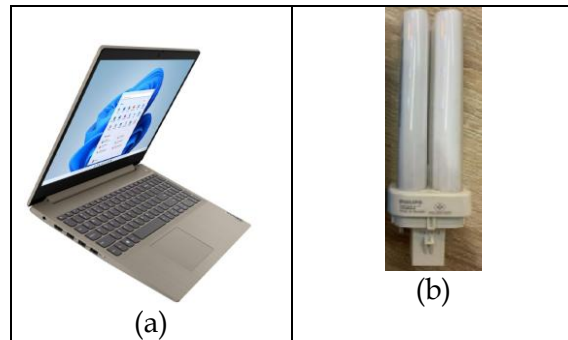
Beban non-linier dimana arus tidak sebanding dengan tegangan dan berfluktuasi berdasarkan impedansi beban bolak-balik sehingga terjadi cacat gelombang (Au et al., 2010; Hardie S, 2010). Contoh rangkaian inverter 1 fasa dan gelombang non sinus AC beban non linier dapat dilihat pada gambar 3.a Rangkaian Inverter 1 fasa dan 3.b Gelombang Non-Sinus AC.

Penggunaan beban non linier dapat menimbulkan harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik, karena sumber utama dari gangguan harmonisa adalah beban non linier (Silalahi et al., 2021)



Gambar 3.a Rangkaian Inverter 1 fasa dan 3.b Gelombang Non-Sinus AC Beban Non

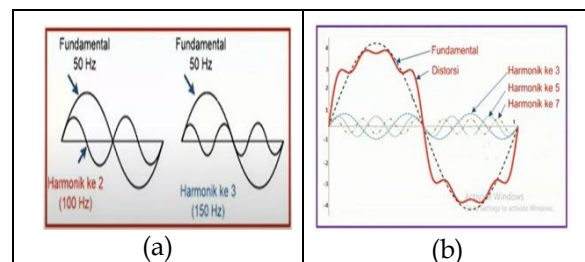
linier



Gambar 4.a Laptop dan 4b Lampu LHE

2.4 Harmonik

Harmonik atau biasa disebut harmonisa merupakan distorsi atau cacat gelombang arus dan /atau tegangan karena adanya gelombang lain dengan frekuensi kelipatan frekuensi interger dari frekuensi fundamental. Gelombang harmonisa frekuensi fundamental dapat dilihat pada gambar 5.a Gelombang Harmonisa ke 2 (100 Hz) dan Harmonisa ke 3 (150 Hz) dan 5.b Gelombang Penjumlahan Harmonisa ke 3,5,7



Gambar 5.a Gelombang Harmonisa ke 2 (100 Hz) dan Harmonisa ke 3 (150 Hz) dan 5.b Gelombang Penjumlahan Harmonisa ke 3,5,7

Harmonisa disebabkan karena beban non-linier, dimana beban-beban listrik yang perubahan nilai arusnya tidak linier dengan perubahan nilai tegangan hal ini disebabkan oleh terjadinya perubahan nilai impedansi akibat perubahan nilai tegangan (Ar Rahmaan, 2016).

Harmonik (komponen) merupakan komponen dengan orde lebih besar dari salah satu deret Fourier suatu besaran periodik. Misalnya, dalam sistem 60 Hz, orde harmonik 3, juga dikenal sebagai harmonik ketiga, adalah 180 Hz (Ariyadi et al., 2023; De Capua & Romeo, 2007).

Indikator Harmonik diantaranya yaitu THD (Total Harmonic Distortion) dan TDD (Total Demand Distortion). THD merupakan perbandingan nilai rms komponen harmonik dengan nilai rms komponen

fundamental ini disebut THD dan biasanya dinyatakan dalam persen (Ariyadi et al., 2023).

Rasio antara nilai rms dari harmonik individual terhadap nilai rms dari fundamental disebut IHD, (Sankaran, Power 81). Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonik dari gelombang sinus sempurna. Nilai THD gelombang sinus sempurna pada frekuensi dasar, THD nya nol. Demikian pula, ukuran distorsi harmonik individu untuk tegangan dan arus pada orde ke-h masing-masing didefinisikan sebagai V_h/V_1 dan I_h/I_1 . Besarnya nilai THDv dapat dihitung menggunakan persamaan (1) atau (2)

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

Besarnya nilai THDi dapat dihitung menggunakan persamaan (3) atau (4)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (4)$$

Distorsi permintaan total (TDD) adalah distorsi arus harmonik yang dihitung dalam sistem kelistrikan terhadap permintaan beban penuh. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai: (Cadence System Analysis, 2021). TDD merupakan perbandingan antara komponen arus harmonisa dengan arus beban *demand* maksimum, (Alex Sandria Jaya Wardhana, 2019)). Penggunaan persamaan (5) atau (6) untuk menghitung TDD.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_L} \quad (5)$$

$$TDD = \frac{\sqrt{I_{h2}^2 + I_{h3}^2 + I_{h4}^2 + I_{h5}^2 + \dots}}{I_L} \quad (6)$$

I_h = arus harmonik orde ke-h

I_L = arus beban maksimum pada frekuensi dasar pada PCC (*Point of Common Coupling*)

2.5 Standar Harmonik

Batas distorsi tegangan menggunakan menggunakan tabel 2.1.

berdasarkan tegangan sistem yang digunakan yang mengacu pada IEEE Std 519-2014. Batas Arus untuk sistem dengan tegangan 120 V hingga 69 kV dapat menggunakan tabel 2. Standar arus harmonik, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L , dimana I_{sc} yang merupakan arus hubung singkat maksimum pada titik PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L merupakan arus beban maksimum pada frekuensi dasar. Akibat harmonik, efisiensi dan faktor daya suplai sistem menjadi rendah (Silalahi et al., 2021).

Tabel 2.1. Batas Distorsi Tegangan

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

^aHigh-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

Tabel 2.2. Batas Arus untuk sistem dengan tegangan 120 V hingga 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^\circ$	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

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L , where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Besarnya nilai THDv, TDHi dan TDD harus dibandingkan dengan standar IEE 19 tahun 2014, dengan cara menentukan nilai Short Circuit Ratio (SCR)= I_{sc}/I_L , dimana untuk menghitung arus hubung singkat gunakan persamaan (7) dan arus beban maksimum dapat digunakan persamaan (8) dibawah ini.

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times \text{pf}} \quad (7)$$

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times Z\%} \quad (8)$$

Untuk satu fasa perhitungan arus beban gunakan persamaan (9) dan arus hubung singkat gunakan persamaan (10).

$$I_L = \frac{P}{V_{LN} \times \text{pf}} \quad (9)$$

$$I_{sc} = \frac{S}{V_{LN}} \quad (10)$$

2.6 Faktor Daya

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata dengan daya semu/komplek atau faktor daya merupakan selisih sudut antara tegangan dan arus, (Baturay, 2023). Akibat faktor daya rendah konsumsi daya reaktif meningkat dan rugi daya juga meningkat (Alex Sandria Jaya Wardhana, 2019).

Pengaruh harmonisa arus terhadap faktor daya bahwa arus harmonisa mengakibatkan adanya perbedaan nilai antara *true pf* dan *distortion pf*. Perbandingan antara daya nyata dan daya semu disebut *true pf* dan nilainya ditentukan pada persamaan (12,13), sedangkan *distortion pf* ialah faktor daya yang terjadi akibat adanya distorsi tegangan dan distorsi arus pada kondisi harmonik dan nilainya ditentukan dengan persamaan (11), (Gary.W Chang, Paulo F. Ribeiro,1998, ((Siahaan et al., 2020; Silalahi et al., 2021)).

$$DPF = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{THDi}{100}\right)^2 + 1}} \quad (11)$$

$$TPF = \frac{P}{S1 \times \sqrt{1 + \left(\frac{THDv}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THDi}{100}\right)^2}} \quad (12)$$

$$TPF = PF \times DPF \quad (13)$$

dimana:

TPF=true power factor

PF=power factor

DPF=distortion power factor

Dalam kondisi sinusoidal nilai *dcpf=tpf*, dan Jika sistem mengandung harmonisa, maka nilai *true pf* adalah lebih kecil dibandingkan *pf distortion*.

$$pf_{true} \leq pf_{distortion} \quad (14)$$

jadi untuk beban nonlinier satu fasa dengan distorsi arus tinggi, faktor daya totalnya (pf total) buruk. Dengan menambahkan kapasitor koreksi faktor daya ke beban tersebut kemungkinan besar akan menyebabkan kondisi resonansi. Alternatif untuk memperbaiki faktor daya distorsi adalah dengan menggunakan filter pasif atau aktif untuk menghilangkan harmonik yang dihasilkan oleh beban nonlinier.

3. Metodologi

3.1 Metode Pelaksanaan

Langkah dalam pelaksanaan penelitian mencakupi:

- Rancang bangun yaitu tahapan yang dilakukan dalam hal ini diantaranya mencakupi tahap persiapan membuat simulator rumah tinggal, menentukan spesifikasi beban listrik yang akan digunakan, menyiapkan alat ukur yang akan digunakan.
- Pengujian hasil rancang bangun yaitu memastikan secara mekanik dan elektrik simulator modul praktikum siap digunakan dan ini merupakan aktivitas pengujian visual. Pengujian berikutnya melakukan pengukuran besaran listrik, dimana yang diukur mencakupi daya listrik yaitu daya nyata (P), daya semu (S), daya reaktif (Q), tegangan, arus, faktor daya, THDv, dan THDi.
- Pembahasan yaitu melakukan perhitungan dan analisis berdasarkan data hasil pengukuran beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2. Pembahasan mencakupi THDv, THDi, TDD dan faktor daya.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan mencakupi persiapan, penentuan spesifikasi beban, pengukuran beban individu, pengukuran beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2.



Gambar 4.1 Persiapan pengujian

Tabel 4.1 Spesifikasi Beban Non-Linier

Data beban Non Linear							
NO.	Nama Ruang	Jumlah	Lampu LHE Watt	Lampu Pijar Watt	Lampu TL Watt	Laptop Watt	Kipas Angin Watt
1.	Ruang Tamu	1				15	
2.	Kamar 1	1	23			65	
3.	Kamar 2	1	23				
4.	Kamar 3	1	23				
5.	Ruang Makan	1	23				
6.	Dapur	1	23				
7.	Toilet	1	23				
8.	Teras	1	23				
Jumlah			161	0	0	80	0
Beban Total Penuh (W)			241				

Berdasarkan tabel 4.1 Spesifikasi beban non linier yang akan digunakan mencakupi lampu LHE 7 buah @23 W, Laptop 1 buah @ 65 W dan Laptop 1 buah @ 15 W

Tabel 4.2 Spesifikasi Beban Campuran-1

Data beban Campuran 1							
NO.	Nama Ruang	Jumlah	Lampu LHE Watt	Lampu Pijar Watt	Lampu TL Watt	Laptop Watt	Kipas Angin Watt
1.	Ruang Tamu	1			10	15	
2.	Kamar 1	1	23			65	
3.	Kamar 2	1	23				
4.	Kamar 3	1	23				
5.	Ruang Makan	1	23				40
6.	Dapur	1		100			
7.	Toilet	1		25			
8.	Teras	1	23				
Jumlah			115	125	10	80	40
Beban Total Penuh (W)			370				

Berdasarkan tabel 4.2 Spesifikasi beban campuran-1 yang akan digunakan mencakupi lampu LHE 5 buah @23 W, Lampu pijar 1 buah @ 100 W dan 1 buah @25 W, Lampu TL ballast elektronik 1 buah @ 10 W, Laptop 1 buah @ 65 W dan Laptop 1 buah @ 15 W serta kipas angin 40 W.

Tabel 4.3 Spesifikasi Beban Campuran-2

Data beban Campuran 2							
NO.	Nama Ruang	Jumlah	Lampu LHE Watt	Lampu Pijar Watt	Lampu TL Watt	Laptop Watt	Kipas Angin Watt
1.	Ruang Tamu	1				15	
2.	Kamar 1	1	23			65	
3.	Kamar 2	1	23				
4.	Kamar 3	1	23				
5.	Ruang Makan	1	23				
6.	Dapur	1		100			
7.	Toilet	1		100			
8.	Teras	1	23				
Jumlah			115	200	0	80	0
Beban Total Penuh (W)			395				

Berdasarkan tabel 4.3 Spesifikasi beban campuran-2 yang akan digunakan mencakupi lampu LHE 5 buah @23 W, Lampu pijar 1 buah @ 100 W dan 1 buah @25 W, Lampu TL ballast elektronik 1 buah @ 10 W, Laptop 1 buah @ 65 W dan Laptop 1 buah @ 15 W.

Persiapan pengujian dapat dilihat pada gambar 4.1 dimana pada gambar tersebut terlihat lampu dan laptop nyala artinya hasil rancang bangun dipastikan dapat berfungsi dengan benar dan siap digunakan untuk tahap pengujian selanjutnya.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Beban Individual

No	Nama Beban (W)	Jumlah	P (W)	Q (W)	S (W)	V (Volt)	IL (A)	Cos phi	THDv (%)	THDv (Volt)	THDi (%)	THDi (A)
1.	LHE=23	1	24	30	39	226	1,174	0,61	3,9	6,8	85	0,099
2.	Laptop=65	1	72	102	177	227,3	0,783	0,4	4,5	10,3	165	0,495
3.	Laptop=15	1	12	30	39	226	0,168	0,4	3,9	6,9	205	0,150
4.	Lampu Pijar=100	1	99	0	99	225	0,438	1	3,9	6,8	11,1	0,048
5.	Lampu Pijar=25	1	30	21	45	225,8	0,195	0,86	3,9	6,8	12,5	0,039
6.	TL=10	1	6	18	18	225,9	0,069	0	3,9	9	144	0,047
7.	Kipas Angin=40	1	46	24	54	225,8	0,243	0,88	3,8	6,6	11,5	0,027

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Beban Non-Linier

Tabel Harmonik beban Non Linear												
Harmonik ke	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	V (Volt)	IL (A)	Cos phi	THDv (%)	THDv (Volt)	THDi (%)	THDi (A)	THDi (A)	THDi (A)
1	190,3	178,4	260,88	222,4	1,1	0,73	100	222,26	100	0,939		
2							0,03	0,06	0,99	0,009		
3							1,18	2,61	60,75	0,57		
4							0,01	0,03	0,95	0,009		
5							3,51	7,8	17,92	0,168		
6							0,01	0,02	0,94	0,009		
7							1,48	3,28	25,01	0,235		
8							0,01	0,02	0,89	0,008		
9							0,47	1,05	21,52	0,202		
10							0,01	0,02	0,8	0,007		
11							0,06	0,13	7,45	0,7		
12							0	0,01	0,67	0,006		
13							0,07	0,17	9,89	0,093		
14							0	0,01	0,64	0,06		
15							0,05	0,12	7,11	0,067		
16							0	0,01	0,62	0,006		
17							0,04	0,09	6,82	0,64		
18							0	0,01	0,64	0,06		
19							0,07	0,15	9,42	0,088		
20							0	0,01	0,64	0,006		

Dampak harmonik pada beban perumahan terhadap distribusi sekunder dapat dianalisis melalui studi aliran daya harmonik karena beban penerangan dan elektronika di rumah tinggal cukup signifikan. (Roy et al., 2020).

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Beban Campuran 1

Tabel Harmonik Beban campuran 1												
Harmonik ke	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	V (Volt)	IL (A)	Cos phi	THDv (%)	THDv (Volt)	THDi (%)	THDi (A)	THDi (A)	THDi (A)
1	334,7	149,66	366,66	225,5	1,626	0,91	100	225,36	100	1,523		
2							0,01	0,1	0,38	0,006		
3							1,12	2,52	29,91	0,456		
4							0,01	0,03	0,29	0,004		
5							3,06	6,89	12,09	0,184		
6							0,01	0,03	0,26	0,004		
7							1,21	2,72	10,05	0,153		
8							0,02	0,05	0,23	0,004		
9							0,31	0,7	10,89	0,0166		
10							0,01	0,02	0,13	0,002		
11							0,13	0,3	4,75	0,072		
12							0	0,01	0,11	0,002		
13							0,05	0,11	2,69	0,041		
14							0	0,01	0,13	0,002		
15							0,02	0,04	4,53	0,069		
16							0	0,01	0,11	0,002		
17							0,06	0,12	3,85	0,059		
18							0	0,01	0,13	0,002		
19							0,04	0,08	3,28	0,05		
20							0	0,01	0,16	0,002		

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Besaran Listrik Beban Campuran-2

Tabel Harmonik Beban campuran 2										
Harmonik ke	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	V (Volt)	IL (A)	Cos phi	THDv (%)	THDv (Volt)	THDi (%)	THD (A)
1	365,8	155,8	397,63	225,7	1,734	0,92	100	225,66	100	1,65
2							0,04	0,09	0,25	0,00
3							1,13	2,56	30,58	0,5
4							0,02	0,04	0,24	0,00
5							3,38	7,64	8,95	0,14
6							0,02	0,04	0,22	0,00
7							1,19	2,68	6,74	0,11
8							0,01	0,03	0,22	0,00
9							0,36	0,8	9,38	0,15
10							0,01	0,02	0,22	0,00
11							0,08	0,18	5,81	0,09
12							0	0,01	0,18	0,00
13							0,08	0,18	4,58	0,07
14							0,01	0,01	0,16	0,00
15							0,05	0,1	3	0,05
16							0,01	0,001	0,13	0,00
17							0,03	0,06	1,31	0,02
18							0	0,01	0,14	0,00
19							0,04	0,1	4	0,06
20							0	0,01	0,13	0,00

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Hasil Pengujian Beban Individual

Beban individu dapat dilihat tabel 4.4 jika tinjau dari nilai THDv terlihat bahwa beban Laptop 65W mempunyai nilai THDv terbesar jika dibandingkan dengan beban lampu, kipas angin dan laptop 15W yang digunakan dalam pengujian. Besarnya nilai THDv jika dinyatakan dalam % yaitu besarnya THD v=4.5%, sedangkan jika dinyatakan dalam besaran volt besarnya THDv=10,3 [V].

Apabila ditinjau dari nilai THDi maka beban Laptop 15 W mempunyai THDi terbesar=205% dengan besarnya THDi dalam satuan ampere yaitu THDi=0,15[A], jika dibandingkan dengan beban lampu LHE, TL ballast elektronik, kipas angin dan laptop 65 W.

Apabila ditinjau dari nilai cos phi (faktor daya) beban Laptop 65W dan laptop 15 W keduanya mempunyai nilai cos phi /faktor daya rendah yaitu 0,4 jika dibandingkan dengan beban lainnya yang digunakan dalam pengujian ini yang mencakupi lampu TL ballast elektronik, lampu LHE dan kipas angin. Beban-beban yang digunakan dalam pengujian ini ada dua jenis kategori yaitu laptop, lampu LHE dan lampu TL ballast elektronik termasuk kategori beban non linier, sedangkan beban kipas angin termasuk kategori beban linier (Aliyu et al., 2023).

4.2.2 Analisis Hasil Pengujian Beban Non-Linier

Analisis THDv dilakukan dengan menghitung THDv dan THDi. Perhitungan THDv gunakan persamaan (1,2) dan THDi menggunakan persamaan (3,4). Hasil perhitungan THDv dan THDi ditunjukkan pada tabel 4.8 dibawah ini:

Tabel 4.8 Perhitungan THDv dan THDi Beban Non-Linier, Beban Campuran-1 dan Beban Campuran-2

Beban Non Linier		Beban Campuran-1		Beban Campuran-2	
THDv (%)	THDi (%)	THDv (%)	THDi (%)	THDv (%)	THDi (%)
4	124,6	3,49	34,93	3,77	34,71

Berdasarkan tabel 4.8 jika hasil tersebut dibandingkan dengan Standard IEEE 519-2014 untuk tegangan bus pada PCC dibawah 1 kV atau $V \leq 1.0$ kV diperoleh nilai THDv sebesar 8 % berdasarkan tabel 2.1. Nilai THDv hasil perhitungan masih dalam batas aman karena nilainya dibawah standar IEEE. (nilai THDv hasil perhitungan <8%).

Berdasarkan tabel 4.5 orde harmonik ke 3 merupakan orde tertinggi frekuensi harmonik 150 Hz untuk beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2.

Berdasarkan tabel 4.8 perhitungan nilai THDi untuk beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2 ini diperoleh nilai THDi secara berurut sebesar 124,6% beban non linier, 34.93 beban campuran-1 dan 34,71% beban campuran-2 selanjutnya menghitung nilai IL dan Isc untuk mengevaluasi nilai TDD ketiga beban tersebut. Nilai IL dan Isc dapat dihitung menggunakan persamaan (7,8).

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan (Isc/IL) Beban Non-Linier, Beban Campuran-1 dan Campuran-2

Per hitungan	Beban Non-Linier	Beban Campuran	
		1	2
I_L	1,19 (A)	1,63(A)	1,762 (A)
I_{sc}	2,05 (A)	2,05 (A)	2,05 (A)
I_{sc}/I_L	1,72	1,25	1,165

Berdasarkan tabel 4.9 Perhitungan (Isc/IL) diperoleh 1,72 untuk Beban Non-Linier, 1,25 Beban Campuran-1 dan 1,165 Campuran-2. Hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan standar IEEE N0.19 tahun 2014 batas arus untuk sistem dengan tegangan 120 V hingga 69 kV seperti tercantum pada tabel 2 diatas, maka diperoleh (Isc/IL)

dari standar IEEE adalah < 20 dengan TDD 5% dan selanjutnya menghitung nilai TDD karena pada standar IEEE No.19 dengan mengetahui nilai SCR (I_{sc}/I_L), maka tidak dapat langsung mendapatkan nilai THDi akan tetapi diperoleh nilai TDD sehingga harus menghitung nilai TDD nya. Persamaan untuk menghitung TDD beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2 menggunakan persamaan (5,6) hasil perhitungannya pada tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4. 10 Perhitungan TDD

	Beban Non Linier	Beban Campuran 1	Beban Campuran 2	Standar IEEE No19 tahun2014
TDD	154,54 %	32,66 %	49,03 %	5%

Berdasarkan tabel 4.10 perhitungan nilai TDD diperoleh nilai TDD secara berurut sebesar 154,54% beban non linier, 32,66% beban campuran-1 dan 49,03% beban campuran-2. Hasil perhitungan TDD ketiga beban tersebut dibandingkan dengan standar IEEE No.19 tahun 2014, diperoleh nilai perbandingan I_{sc}/I_L ialah <20 dengan TDD sebesar 5%. Nilai TDD hasil perhitungan untuk ke tiga beban hasilnya lebih besar dari TDD standar IEEE sehingga akan menyebabkan kualitas daya listriknya pada rumah tinggal termasuk dalam kategori jelek karena pada rumah tinggal adanya harmonik akibat penggunaan beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2.

Berdasarkan tabel 4.5 orde harmonik ke 3 merupakan orde tertinggi dengan frekuensi harmonik 150 Hz untuk beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2. Persamaan untuk menghitung IHD sebagai berikut:

$$IHD = \frac{I_{HDn}}{I_1} \times 100\%$$

Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini:

Tabel 4.11 Perhitungan IHD ke 3 beban non-linier, beban campuran-1 dan beban Campuran-2

IHD Orde harmonik ke:	Beban Non Linier	Beban Campuran-1	Beban Campuran-2
3	THDi=60,75% atau 0,57 A	THDi=29,91 % atau 0,456 A	THDi=30,8 % atau 0,5 A
(Isc/IL) dihitung berdasarkan tabel 4.5, 4.6, 4.7	Isc/IL= 1,72	Isc/IL= 1,25	Isc/IL= 1,165
Standar IEEE No 519 tahun 2014 (Isc/IL)	<20 dengan range IHD= $3 \leq h < 11$ diperoleh 4% , TDD=5%	<20 dengan range IHD= $3 \leq h < 11$ diperoleh 4% TDD=5%	<20 dengan range IHD= $3 \leq h < 11$ diperoleh 4% TDD=5%
Perhitungan IHD ke 3	57,57 %	29,94%	88,18%

Nilai perhitungan IHD untuk ketiga beban pada tabel 4.11 melebihi standar IEEE. Hal ini disebabkan karena beban rumah tinggal menggunakan beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2. Dampak dari harmonik kualitas daya listriknya jelek dengan ditandai adanya kenaikan arus harmonik yang tinggi sehingga menaikkan temperatur pada peralatan listrik yang dapat memperpendek umur peralatan listrik pada rumah tinggal.

Solusinya ialah memasang filter pasif atau filter aktif untuk memperbaiki kualitas daya listrik akibat adanya harmonik.

4.3 Analisis arus total rms akibat harmonisa

Nilai arus rms (Irms) akibat harmonisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}$$

Sedangkan nilai tegangan rms (Vrms) akibat harmonisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{rms} = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}$$

Hasil perhitungan Vrms dan Irms untuk beban non-linier, beban campuran-1 dan campuran-2 dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah ini

Tabel 4.12 Perhitungan Irms dan Vrms Beban Non-Linier, Beban Campuran-1 dan Beban Campuran-2

	Beban Non Linier	Beban Campuran-1	Beban Campuran-2
Irms	1,58 A	1,613 A	1,753 A
Vrms	222,8	225,5	225,8

Nilai arus rms (Irms) fundamental berdasarkan tabel 4.12 lebih besar dari tabel 4.6, 4.7, 4.8 hal ini disebabkan karena adanya harmonik akibat penggunaan beban non linier, beban campuran-1 dan beban campuran-2 pada rumah tinggal dan besarnya nilai Irms untuk beban non linier semula 0,99 A menjadi 1,58 A, untuk beban campuran-2 besarnya Irms semula 1,523 menjadi 1,613 A dan beban

campuran-2 besarnya Irms semula 1,567 menjadi

1,753. Perlu dilakukan tindakan pemasangan filter pasif/ aktif untuk mengurangi harmonik sampai tercapainya aman berdasarkan standar IEEE No,519, 2014.

4.3.1 Analisis pengukuran faktor daya

Berdasarkan tabel 4.13 beban non linier mempunyai $pf=0,73$ ini lebih rendah dibandingkan dengan beban campuran-1 $pf=0,91$ dan beban campuran-2 mempunyai $pf=0,92$ disebabkan karena beban non linier menggunakan lampu LHE dan laptop. Jadi faktor daya menyatakan tingkat efisiensi daya listrik yang dihasilkan pada beban tersebut, sehingga semakin tinggi nilai faktor daya dari suatu perangkat penghasil sumber tegangan listrik, maka perangkat tersebut memiliki kualitas yang lebih baik

Tabel 4.13 Pengukuran faktor daya

Beban	Beban	Beban
Non-Linier	Campuran 1	Campuran 2
pf	0,73	0,91
		0,92

Tabel 4.14 Perhitungan *true pf* dan *dist pf*

	Beban Non Linier	Beban Campuran-1	Beban Campuran-2
<i>true pf</i>	0,4567	0,8111	0,8706
<i>distortion pf</i>	0,6256	0,8913	0,9463

Berdasarkan tabel 4.14 beban non linier nilai faktor daya sebenarnya, *true pf* = 0,4567 lebih rendah dari nilai $pf = 0,73$ beban non linier (tabel 4.10). Nilai tersebut dalam kondisi nyala serentak dipasang secara paralel. Rendahnya nilai *true pf* ini sangat dipengaruhi nilai *distortion pf* = 0,6256 dengan nilai arus harmonik $THDi=124,6\%$ yang tinggi. Dengan demikian arus harmonik yang tinggi menurunkan nilai pf . Nilai faktor daya, *true pf*=0,4567, hal ini menunjukkan hanya sekitar 45,67% energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya pada lampu LHE dan operasi laptop.

Berdasarkan tabel 4.14 beban campuran-1 nilai faktor daya sebenarnya, *true pf* = 0,8111 lebih rendah dari nilai $pf = 0,91$ beban non linier (tabel 4.10). Nilai tersebut dalam kondisi nyala serentak dipasang secara paralel. Nilai faktor daya, *true pf* = 0,8111, hal ini menunjukkan hanya sekitar 80,11% energi listrik yang diubah

laptop beserta kipas angin.

Berdasarkan tabel 4.14 beban campuran-2 nilai faktor daya sebenarnya, *true pf* = 0,8706 lebih rendah dari nilai $pf = 0,92$ beban non linier (tabel 4.10). Nilai tersebut dalam kondisi nyala serentak dipasang secara paralel. Nilai faktor daya, *true pf* = 0,8706, hal ini menunjukkan hanya sekitar 87,06% energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya pada lampu LHE, Pijar, TL ballast elektronik dan operasi laptop. Adanya harmonik pada sistem kelistrikan dapat berpengaruh terhadap kualitas daya listrik karena dapat menurunkan faktor daya. Pengaruh harmonisa arus terhadap faktor daya mengakibatkan perbedaan nilai antara *true pf* dan *distortion pf*. nilai faktor daya dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini (W. Mack Grady, Robert J. Gilleskie, 1993):

$$pf_{true} \approx \frac{P_1}{V_1 I_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_1}{100}\right)^2}} = pf_{disp} \times pf_{dist}$$

atau

$$true\ pf < distorsi\ pf = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_1}{100}\right)^2}}$$

Jadi *true pf* tidak bisa lebih dari 1 sehingga pada penelitian sistem ketenagalistrikan pada simulator rumah tinggal ini terpapar harmonik akibat penggunaan beban non linier, beban campuran 1 dan beban campuran 2.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Modul praktikum ini layak digunakan sebagai pendukung mata kuliah kualitas daya listrik merepresentasikan silabus materi mata kuliah tersebut dan mendukung dunia kerja pada profesi auditor energi dan manajer energi.

Pada sistem ketenagalistrikan rumah tinggal mempunyai kualitas daya listrik yang jelek karena mempunyai nilai $THDi$ dan TDD yang melebihi standar IEEE No.19 Tahun 2014, selain itu juga nilai *True PF* yang lebih kecil dari *Distortion PF* sehingga tercemar harmonik.

5.2 Saran

Solusi untuk memperbaiki kualitas daya sistem kelistrikan pada simulator rumah tinggal perlu dibuatkan filter pasif atau filter aktif untuk meredam harmonik sehingga dalam praktik dapat dilakukan observasi langsung adanya kualitas daya listrik sebelum dipasang filter dengan setelah dipasang filter.

menjadi energi cahaya pada lampu LHE, Pijar, TL ballast elektronik dan operasi

Daftar Pustaka

- Alex Sandria Jaya Wardhana, I. W. (2019). Studi Power Quality Di Balai Latihan Pendidikan Teknik (Blpt) Yogyakarta. *Jurnal Edukasi Elektro*, 3(2).
- Aliyu, A. J., Saidu, A. A., Kunya, A. B., & Salisu, S. (2023). *Development of Active Power Filter Based on Delta Connected Cascaded H- 1st International Conference on Scientific and Academic Development of Active Power Filter Based on Delta Connected Cascaded H-Bridges*. April.
- Amalia, R., & Nazir, R. (2015). Pemodelan dan Simulasi Beban Non-Linier 3-Fasa dengan Metoda Sumber Arus Harmonik. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(2), 165. <https://doi.org/10.25077/jnte.v4n2.154.2015>
- Ar Rahman, A. B. (2016). Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Kualitas Daya Pada Sistem Kelistrikan Pt. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Metode Genetic Algorithm (Ga). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16123>
- Ariyadi, W., Rozak, O. A., Rosiana, E., Ariyadi, W., Rozak, O. A., & Rosiana, E. (2023). QUALITY ANALYZER PADA PERUSAHAAN X Analyzer selama 24 jam penuh pada sisi. 6(2), 202-208. <https://doi.org/10.32493/epic.v6i2.36864>
- Au, M. T., Navamany, J. S., & Yeoh, E. C. (2010). Impact of medium power inverter-based residential harmonic loads and PFCs on low voltage lines. *PECon2010 - 2010 IEEE International Conference on Power and Energy*, July, 695-699. <https://doi.org/10.1109/PECON.2010.5697669>
- Baturay, S. C. (2023). *The Photovoltaic Performance of the Modelled CdS / CuO Solar Cell 1st International Conference on Scientific and Academic The Photovoltaic Performance of the Modelled CdS / CuO Solar Cell*. March.
- De Capua, C., & Romeo, E. (2007). A smart THD meter performing an original uncertainty evaluation procedure. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 56(4), 1257-1264. <https://doi.org/10.1109/TIM.2007.899895>
- Dugan, M. and B. (1996). *lectrical Power Systems Quality*. McGraw.
- Farooq, H., Zhou, C., & Farrag, M. E. (2013). Analyzing the Harmonic Distortion in a Distribution System Caused by the Non-Linear Residential Loads. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2(1), 46-51. <https://doi.org/10.12720/sgce.2.1.46-51>
- Hardie S, W. N. (2010). The effect of new residential appliances on power quality. In: *Proc. of Australasian Universities Power Engineering Conference*, 1-6.
- Llc, C. R. C. P. (2002). *Power quality* © 2002.
- Luo, A., Xu, Q., Ma, F., & Chen, Y. (2016). Overview of power quality analysis and control technology for the smart grid. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 4(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s40565-016-0185-8>
- Pahiyanti, N. G., & Soewono, S. (2015). Studi Harmonik Pada Sumber Listrik Akibat Penggunaan Lampu Led, Lhe, Dan Tl. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(1), 28-40.
- Roy, J., Jain, A. K., & Mather, B. (2020). Impacts of experimentally obtained harmonic spectrums of residential appliances on distribution feeder. *2020 IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC* 2020. <https://doi.org/10.1109/TPEC48276.2020.9042573>
- Siahaan, F. J., Silalahi, E. M., Widodo, B., & Purba, R. (2020). Pengukuran Total Harmonic Distortion (Thd) Terhadap Lampu Hemat Energi (Lhe) Dan Light-Emitting Diode (Led). *Lektrokom : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1), 8. <https://doi.org/10.33541/lektrokom.v3i1.3372>
- Silalahi, E. M., Widodo, B., & Purba, R. (2021). Analisis Total Harmonic Distortion (THD) dan Arus Harmonik Akibat Penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE) dan Light-Emitting Diode (LED) secara Kolektif Pada Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 6(1), 54. <https://doi.org/10.33772/jfe.v6i1.16044>
- Widia, R., Pengajar, S., Elektro, T., & Negeri, P. (n.d.). *Prediksi Distorsi Harmonisa Pada Utility Listrik*. 49-59.

