

# **Analisa Harmonisa Dan Simulasi Filter Aktif *Shunt* Pada *Base Transceiver Station* (BTS) Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta Menggunakan Matlab Simulink**

David Melanius Nai<sup>1</sup>, Eva Magdalena Silalahi<sup>2</sup>, Robinson Purba<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta

\*Alamat korespondensi: [davidmelanius34@gmail.com](mailto:davidmelanius34@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Di era modern ini elektronika daya banyak digunakan dalam peralatan listrik yang cenderung bersifat tidak linear, mengakibatkan gelombang arus tidak sama dengan gelombang tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui harmonisa yang ditimbulkan oleh BTS yang mencakup tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus akibat pemakaian energi listrik pada BTS. Penelitian dilakukan terhadap BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI, Jakarta. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada BTS ditemukan bahwa *Total Harmonic Distortion Voltage* (THD<sub>v</sub>) untuk fasa R, S dan T sebesar 1,62%, 1,39% dan 1,34% yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014, sedangkan nilai *Total Harmonic Distortion Current* (THD<sub>i</sub>) untuk fasa R, S dan T sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan harmonisa dominan terjadi pada orde ke-3. Berdasarkan hasil simulasi rancangan filter aktif *shunt* menggunakan matlab, diperoleh nilai THD<sub>i</sub> sesudah menggunakan filter aktif *shunt* untuk fasa R, S dan T bernilai 0,15%, 0,68% dan 0,59% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014, serta nilai harmonisa arus dominan menunjukkan bahwa orde ke-3 juga memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan tingkat harmonisa sebesar 0,01%, 0% dan 0,01% untuk fasa R, S, dan T

**Kata Kunci** : Harmonisa, THD<sub>i</sub>, THD<sub>v</sub>, Beban tidak linear, Filter Aktif *Shunt*

## ABSTRACT

*In this modern era, power electronics are extensively used in electrical equipment that tends to be nonlinear, resulting in current waveforms that are not identical to voltage waveforms. This research aims to determine the harmonics generated by Base Transceiver Stations (BTS), including the levels of voltage and current harmonic distortion due to electricity consumption in BTS operations. The study was conducted on BTS units located in the Mechanical Engineering Department Building of the Faculty of Engineering at UKI, Jakarta. Based on the research conducted on the BTS units, it was found that the Total Harmonic Distortion Voltage ( $THD_V$ ) for phases R, S, and T were 1.62%, 1.39%, and 1.34%, respectively, which still meet the IEEE 519-2014 standards. On the other hand, the values of Total Harmonic Distortion Current ( $THD_I$ ) for phases R, S, and T were 6.20%, 5.93%, and 5.57%, respectively, failing to meet the IEEE 519-2014 standards, with the dominant harmonics occurring at the 3rd order. Based on the simulation results of the designed active shunt filter using MATLAB, the  $THD_I$  values after applying the active shunt filter for phases R, S, and T were 0.15%, 0.68%, and 0.59%, respectively, meeting the IEEE 519-2014 standards. Additionally, the dominant current harmonics for the 3rd order also meet the IEEE 519-2014 standards, with harmonic levels of 0.01%, 0%, and 0.01% for phases R, S, and T.*

**Keywords:** *Harmonics,  $THD_I$ ,  $THD_V$ , Nonlinear Load, Active Shunt Filter.*

### 1. PENDAHULUAN

Tuntutan akan pertukaran informasi dengan kecepatan tinggi dan kapasitas besar di sektor telekomunikasi saat ini semakin meningkat sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi di era modern. Perekembangan ekonomi dan teknologi telekomunikasi telah membuka peluang luas bagi pengembangan berbagai layanan komunikasi canggih yang dapat diakses dengan cepat dan biaya terjangkau. Peningkatan laju transformasi digital menjadi salah satu pilar yang mendukung tekad dalam memperkuat dan menjadikan negara lebih kokoh serta tahan banting, dengan prinsip ini Indonesia telah dengan

tegas mengemukakan komitmen dalam forum G20 untuk terus mengakselerasi transformasi digital, dengan tujuan utama mendorong pertumbuhan yang berkelanjutan<sup>[1]</sup>. Dalam menunjang kegiatan tersebut maka salah satunya diperlukan BTS.

BTS berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal yang didalamnya terdapat komponen peralatan listrik yang bersifat nonlinear seperti *rectifier*, *air conditioner* dan lain-lain. Menurut hasil penelitian yang berjudul “**Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light Emitting Diode (LED)**”, bahwa beban non-linear adalah sumber harmonisa

terhadap sistem tenaga listrik. Beban nonlinear seperti LHE dan LED dapat memunculkan permasalahan harmonisa. Hasil penelitian meunjukkan bahwa, nilai  $THD_V$  sekitar 0,80%-1,3% dan nilai  $THD_I$  pada beban LHE berada dalam rentang 68,57%-78,68%. Nilai  $THD_I$  pada beban LED berada dalam rentang 72,15%-86,04%. Angka-angka tersebut tidak memenuhi standar IEEE 519-2014<sup>[2]</sup>.

Kajian pustaka memperlihatkan bahwa diperlukan upaya untuk meredem harmonisa agar memenuhi standar IEEE 519-2014. Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “**Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Pengaruh Harmonisa (THD) Dengan Penambahan Filter Aktif Menggunakan Matlab**” bahwa, untuk meredem harmonisa dapat menggunakan filter aktif *shunt*. Terlihat bahwa penggunaan filter aktif *shunt* dapat mengurangi tingkat harmonisa jika dibandingkan dengan kondisi tanpa menggunakan filter aktif *shunt*. Sebelum menggunakan filter aktif, nilai  $THD_I$  untuk fasa R,S dan T sekitar 19,20% dan setelah menggunakan filter aktif nilai  $THD_I$  mengalami penurunan menjadi sekitar 7,32% pada setiap fasanya<sup>[3]</sup>.

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “**Measurement and Analysis of Base Transceiver Stations Power Quality Parameters and Assesment of its Unfavourable Effects on Iran Distribution Systems**”, bahwa, BTS merupakan jenis beban non linear. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa, tingkat harmonisa pada BTS tidak

memenuhi standar IEEE 519-2014. Sebelum menggunakan *hybrid pasive filter* (HPF) nilai  $THD_V$  untuk fasa R, S dan T sebesar 7%, 7,3% dan 6,6%, serta  $THD_I$  bernilai 24%, 9,5% dan 17,2%. Setelah menggunakan HPF, harmonisa mengalami penurunan yaitu nilai  $THD_V$  menjadi 2,93%, 7,3% dan 3,04%, serta nilai  $THD_I$  menjadi 9,65%, 9,5% dan 8,20% untuk fasa R, S dan T. Meskipun nilai  $THD_V$  dan  $THD_I$  mengalami penurunan setelah menggunakan HPF, namun nilai  $THD_V$  dan  $THD_I$  tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014<sup>[4]</sup>. Harmonisa menyebabkan panas (*thermal losses*) yang dapat merusak komponen listrik dari BTS<sup>[5]</sup>.

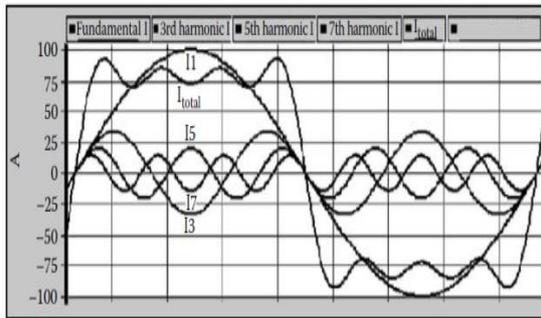
BTS dalam menjalankan fungsinya, berdasarkan hasil penelitian di atas <sup>[2][3][4][5]</sup>, diperkirakan menghasilkan harmonisa yang tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran harmonisa terhadap setiap BTS, termasuk BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin UKI, untuk mengetahui apakah tingkat harmonisa dari BTS ini, sudah memenuhi standar atau belum. Apabila tingkat harmonisa tidak memenuhi standar maka, perlu dilakukan perancangan filter aktif, agar memenuhi standar. Dalam perancangan filter yang dimaksud digunakan *software* matlab.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Harmonisa

Harmonisa pada sinyal listrik merujuk pada kandungan sinyal dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bulat

dari frekuensi fundamental<sup>[6]</sup>, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Gelombang Sinusoidal Terdistorsi<sup>[7]</sup>

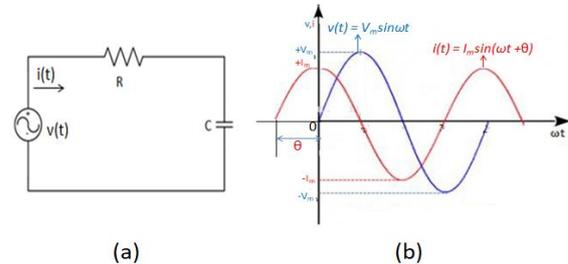
Gambar 1 menunjukkan gelombang-gelombang frekuensi kelipatan bulat ganjil yaitu kelipatan tiga, lima, dan tujuh ( $I_3$ ,  $I_5$ ,  $I_7$ ) terhadap gelombang frekuensi fundamental ( $I_1$ ) yang apabila gelombang-gelombang frekuensi kelipatan bulat ganjil dijumlahkan terhadap gelombang frekuensi fundamental, akan menghasilkan gelombang yang mengalami distorsi ( $I_{total}$ ).

## 2.2 Beban listrik linier

Beban linear adalah beban yang menghasilkan gelombang arus yang sama dengan gelombang tegangan<sup>[6]</sup>. Jenis beban linier termasuk resistif seperti pemanas listrik, bola lampu pijar, kapasitif seperti kapasitor. Beban ini juga bisa merupakan kombinasi dari resistor dan kapasitor yang ditunjukkan gambar 2

Gambar 2(a) memperlihatkan rangkaian yang dibentuk oleh beban linear, terdiri dari resistansi  $R$  dengan kapasitansi  $C$  dalam hubungan seri, dihubungkan dengan sumber tegangan,  $v(t) = V_m \sin \omega t$  volt, sehingga mengalir arus  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta)$  ampere.

Gambar 2(b) memperlihatkan gelombang arus dan tegangan sama-sama sinusoidal, akan tetapi berbeda fase sebesar  $\theta$  dan arus mendahului terhadap tegangan.



Gambar 2 Rangkaian beban linier yang terdiri dari kombinasi resistor dan kapasitor (a), Bentuk gelombang yang dihasilkan (b)

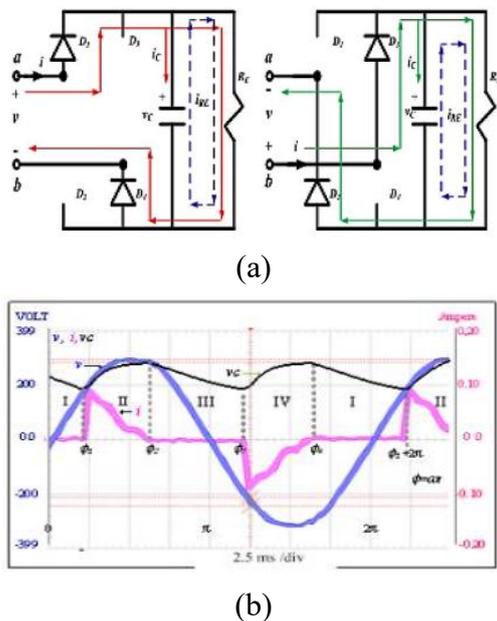
Keterangan:

1.  $V_m$  = harga maksimum dari tegangan, volt
2.  $I_m$  = harga maksimum dari arus, ampere
3.  $\omega$  =  $2\pi f$ , rad/detik
4.  $f$  = frekuensi, hertz
5.  $t$  = waktu, detik
6.  $\theta$  = sudut beda fasa antara tegangan dengan arus dalam derajat
7. Tanda + = arus mendahului terhadap tegangan

## 2.3 Beban listrik nonlinier

Beban nonlinier adalah beban yang menghasilkan gelombang arus yang tidak sama dengan gelombang tegangan<sup>[6]</sup>. Hal ini disebabkan oleh beban non-linear, yang ditunjukkan pada gambar 3(a) bahwa rangkain beban non linear (*rectifier*), menghasilkan bentuk gelombang arus (pink)

tidak sama dengan gelombang tegangan (ungu) yang terlihat pada gambar 3(b)



Gambar 3 Rangkain beban non linear yang terdiri dari dioda(a) , Bentuk gelombang tegangan (ungu) dan arus (pink) pada beban non linear(b) [2]

## 2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

THD merupakan persentase dari total nilai efektif (*root mean square, rms*) dari semua komponen harmonisa terhadap sinyal fundamental, baik itu arus maupun tegangan. THD menggambarkan sejauh mana bentuk gelombang periodik menyimpang dari gelombang sinusoidal ideal, yang merupakan bentuk gelombang periodik murni tanpa distorsi harmonisa.

THD untuk gelombang tegangan ditunjukkan pada persamaan (1)[8].

$$THD_v = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{max}} V_h^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- $THD_v = Total Harmonic Distortion Voltage (\%)$
- $V_h =$  nilai tegangan harmonisa ke-h (V)
- $V_1 =$  nilai tegangan pada frekuensi fundamental (V)

THD untuk gelombang arus ditunjukkan pada persamaan (2)[8].

$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{max}} I_h^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

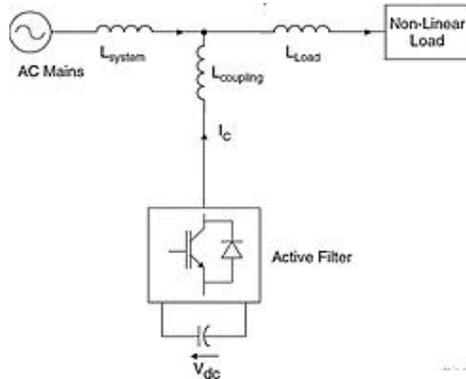
- $THD_I = Total Harmonic Distortion Current (\%)$
- $I_h =$  nilai arus harmonisa ke-h (A)
- $I_1 =$  nilai arus pada frekuensi fundamental (A)

## 2.5 Filter Aktif *Shunt*

Filter aktif berfungsi untuk menciptakan gelombang arus dan tegangan pada sistem, namun dengan fase yang terbalik sehingga total penjumlahan menjadi nol atau disebut sebagai arus dan tegangan kompensasi[9]. Dengan konsep ini diharapkan harmonisa pada sistem dapat diredam.

Dalam rangka menghasilkan arus atau tegangan kompensasi yang sesuai dengan komponen harmonisa, metode yang diterapkan adalah menggunakan inverter. Filter aktif *shunt* disusun paralel dengan jaringan dan untuk mengetahui sinyal acuan, *Shunt Active Power Filter* mampu mendeteksi arus dan tegangan pada sistem dengan cara sinyal arus dimanfaatkan untuk mengambil referensi harmonisa yang kemudian akan diinversi (dibalik) sebesar 180 derajat. Keluaran dari proses rangkaian kontrol digunakan sebagai kontrol sakelar

pada inverter yang terhubung secara paralel dengan sistem melalui *Poin of Common Coupling* (PCC) yang dapat dilihat pada gambar



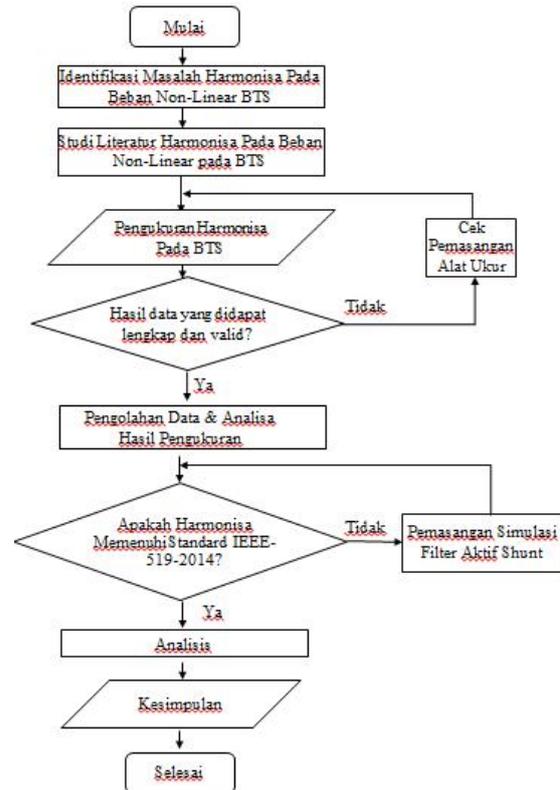
4.

Gambar 4 Skema *Shunt Active Power Filter*<sup>[10]</sup>

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

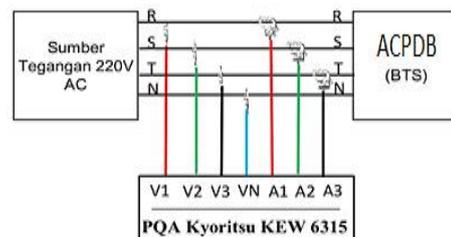
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang bertujuan untuk mengumpulkan data berbentuk numerik dan statistik. Menurut Creswell “penelitian kuantitatif merupakan salah satu bentuk penelitian yang melibatkan tahapan-tahapan seperti memutuskan topik yang akan diteliti, merumuskan pertanyaan yang spesifik, membatasi pertanyaan, mengumpulkan data, dan menganalisis angka-angka melalui penggunaan statistik<sup>[11]</sup>.”

Berdasarkan asumsi, metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagaimana diperlihatkan dalam diagram alur pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram alur penelitian

Untuk mengetahui nilai harmonisa pada BTS, maka dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA), Kyoritsu KEW-6315<sup>[12]</sup>, Rangkaian pengukuran sebagaimana diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6 Rangkaian pengukuran berdasarkan rangkaian 3P4W (3 phase 4 wire)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengolahan Data dan Hasil

Tabel 1 memperlihatkan data hasil pengukuran harmonisa tegangan dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15 (*Individual Harmonic Distortion, IHD*).

Tabel 1 Data IHD<sub>v</sub> Hasil Pengukuran Tegangan.

Orde ke- n	Tegangan Harmonisa orde ke-n $V_n$					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	$V_n$ (V)	IHD <sub>v</sub> (%)	$V_n$ (V)	IHD <sub>v</sub> (%)	$V_n$ (V)	IHD <sub>v</sub> (%)
1	234,78	100	212,21	100	232,62	100
2	0,16	0,06815	0,17	0,08011	0,39	0,16766
3	1,57	0,66871	0,52	0,24504	0,19	0,08168
4	0,01	0,00426	0,01	0,00471	0,01	0,0043
5	2,94	1,25224	2,45	1,15452	2,68	1,15209
6	0	0	0,01	0,00471	0	0
7	1,32	0,56223	1,16	0,54663	0,86	0,3697
8	0	0	0,01	0,00471	0	0
9	0,01	0,00426	0,02	0,00942	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	1,23	0,52389	0,97	0,45709	1,24	0,53306
12	0	0	0	0	0	0
13	0,35	0,14908	0,33	0,15551	0,27	0,11607
14	0	0	0	0	0	0
15	0,17	0,07241	0,15	0,07068	0	0

Nilai THD<sub>v</sub> berdasarkan data tabel 1, dihitung dengan menggunakan persamaan (1) yang menghasilkan masing-masing nilai THD<sub>v</sub> sebesar 1,62%, 1,39% dan 1,34% untuk fasa R, S, dan T.

Tabel 2 memperlihatkan data untuk nilai harmonisa arus dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15.

Tabel 2 Data IHD<sub>i</sub> Hasil Pengukuran

Orde ke- h	Arus Harmonisa orde ke-h $I_h$					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> (%)	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> (%)	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> (%)
1	6,5	100	6,83	100	4,89	100
2	0,01	0,15385	0,01	0,14641	0,01	0,2045
3	0,31	4,76923	0,32	4,68521	0,23	4,70348
4	0	0	0	0	0	0
5	0,21	3,23077	0,21	3,07467	0,12	2,45399
6	0	0	0	0	0	0
7	0,13	2	0,13	1,90337	0,07	1,43149
8	0	0	0	0	0	0
9	0,05	0,76923	0,05	0,73206	0,04	0,818
10	0	0	0	0	0	0
11	0,03	0,46154	0,01	0,14641	0,02	0,409
12	0	0	0	0	0	0
13	0,01	0,15385	0,02	0,29283	0,01	0,2045
14	0	0	0	0	0	0
15	0,01	0,15385	0,03	0,43924	0,02	0,409

Nilai THD<sub>i</sub> berdasarkan data tabel 2, dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yang menghasilkan masing-masing nilai THD<sub>i</sub> sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% untuk fasa R, S, dan T.

##### 4.2 Penentuan Apakah Nilai THD<sub>v</sub> Dan THD<sub>i</sub> Memenuhi Standar 519-2014 Atau Tidak

Dalam menentukan apakah harmonisa tegangan memenuhi standar atau tidak, maka mengacu pada standar IEEE 519-2014, yaitu tegangan *line* pada PCC dalam rentang  $V \leq 1kV$  batas maksimum untuk IHD<sub>v</sub> adalah 5%, sedangkan batas maksimum untuk THD<sub>v</sub> adalah 8%<sup>[5]</sup>.

Pada tabel 3 menyatakan apakah harmonisa tegangan sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 3 IHD Tegangan Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde	Tegangan Harmonisa orde ke-h $V_h$						Standard IEE 519 - 2019
	Fasa R		Fasa S		Fasa T		
	$V_h$ (V)	IHD <sub>v</sub> %	$V_h$ (V)	IHD <sub>v</sub> %	$V_h$ (V)	IHD <sub>v</sub> %	
1	234,78	100,00	212,21	100,00	232,62	100,00	
2	0,16	0,07	0,17	0,08	0,39	0,17	Memenuhi Standar
3	1,57	0,67	0,52	0,25	0,19	0,08	Memenuhi Standar
4	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	Memenuhi Standar
5	2,94	1,25	2,45	1,16	2,68	1,15	Memenuhi Standar
6	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
7	1,32	0,56	1,16	0,55	0,86	0,37	Memenuhi Standar
8	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
9	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	Memenuhi Standar
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
11	1,23	0,52	0,97	0,46	1,24	0,53	Memenuhi Standar
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
13	0,35	0,15	0,33	0,16	0,27	0,12	Memenuhi Standar
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
15	0,17	0,07	0,15	0,07	0,00	0,00	Memenuhi Standar

Tabel 3 memperlihatkan bahwa, harmonisa tegangan dari orde ke-1 sampai orde ke-15 (IHD<sub>v</sub>) dengan THD<sub>v</sub> pada fasa R, S, dan T yang bernilai 1,62%, 1,39%, dan 1,34% telah sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar IEEE 519-2014.

Sama halnya dengan tegangan, dalam menentukan apakah harmonisa arus memenuhi standar atau tidak maka mengacu pada standar IEEE 519-2014. Untuk menentukan batasan harmonisa arus pertama-petama harus menentukan berapa nilai rasio  $I_{sc}/I_L$ .

Didapat bahwa nilai rasio  $I_{sc}/I_L$  menurut *IEE Wiring Regulation* adalah 1,45, maka untuk nilai rasio  $I_{sc}/I_L = 1,45$ , batas maksimum THD<sub>i</sub> berdasarkan standar IEEE 519-2014 adalah 5 %. dan

nilai IHD<sub>i</sub> maksimum untuk orde harmonisa  $1 \leq 11$  adalah 4 %<sup>[5]</sup>.

Tabel 4 menyatakan apakah harmonisa arus telah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4 IHD Arus Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde	Arus Harmonisa Orde ke-h $I_h$ (A)						Standard IEE 519 - 2019
	Fasa R		Fasa S		Fasa T		
	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> %	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> %	$I_h$ (A)	IHD <sub>i</sub> %	
1	6,50	100,00	6,83	100,00	4,89	100,00	
2	0,01	0,09	0,01	0,17	0,01	0,18	Memenuhi Standar
3	0,31	4,76	0,32	4,61	0,23	4,65	Tidak Memenuhi Standar
4	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	Memenuhi Standar
5	0,21	3,29	0,21	3,03	0,12	2,45	Memenuhi Standar
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
7	0,13	2,01	0,13	1,95	0,07	1,50	Memenuhi Standar
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
9	0,05	0,79	0,05	0,77	0,04	0,88	Memenuhi Standar
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
11	0,03	0,41	0,01	0,08	0,02	0,38	Memenuhi Standar
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
13	0,01	0,22	0,02	0,27	0,01	0,29	Memenuhi Standar
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
15	0,01	0,16	0,03	0,40	0,02	0,39	Memenuhi Standar

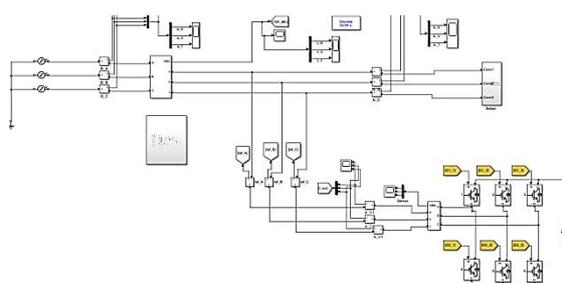
Tabel 4 memperlihatkan bahwa, harmonisa arus tiap orde telah memenuhi standar IEEE 519-2014 kecuali untuk harmonisa arus orde ke-3. Nilai harmonisa arus untuk orde ke-3 untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 4,76%, 4,61%, dan 4,65%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa, harmonisa arus orde ke-3 untuk fasa R, S dan T tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 karena nilainya melebihi 4%.

Nilai THD<sub>i</sub> berdasarkan data tabel 4, dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yang menghasilkan masing-masing nilai THD<sub>i</sub> sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% untuk fasa R, S dan T. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa THD<sub>i</sub> pada fasa R, S, dan T tidak memenuhi

batasan 5% yang diatur dalam standar IEEE 519-2014.

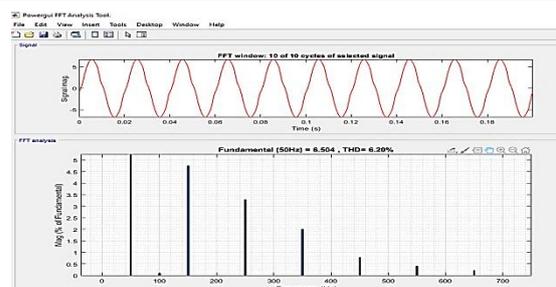
### 4.3 Perancangan Simulasi Filter Aktif Shunt

Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan IHD<sub>I</sub> orde ke-3 dan THD<sub>I</sub> pada fasa R, S, dan T tidak memenuhi standar IEEE 519-2014. Oleh karena itu, perlu dibuat simulasi filter aktif *shunt* menggunakan *software* matlab simulink dengan menggunakan 6 IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) seperti diperlihatkan pada gambar 7. Tujuannya adalah untuk mengurangi tingkat harmonisa..

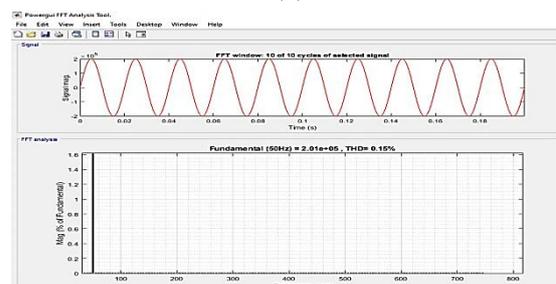


Gambar 7 Simulasi Filter Aktif Shunt Pada BTS

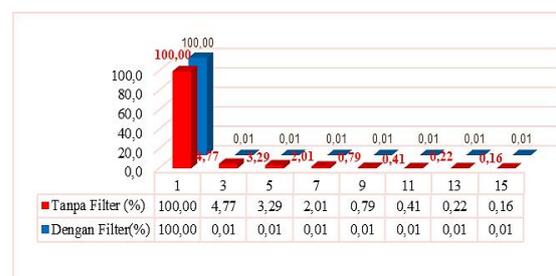
Berdasarkan hasil simulasi filter aktif *shunt* dengan *software* matlab simulink, didapatkan hasil perbedaan antara sebelum dan sesudah menggunakan filter harmonisa seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa R

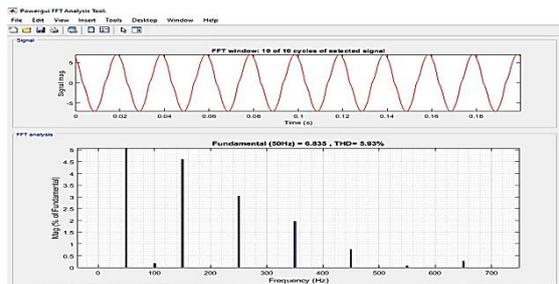
Gambar 8 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 8(a) menyajikan bentuk gelombang arus yang mengalami distorsi dengan nilai THD<sub>I</sub> sebesar 6,20%.

Gambar 8(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai

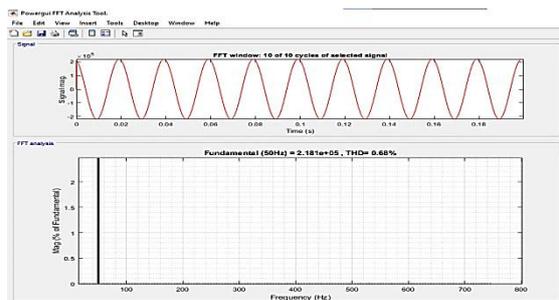
THD<sub>I</sub> fasa R mengalami penurunan sebesar 6,05%, dengan nilai THD<sub>I</sub> yang baru sebesar 0,15%.

Gambar 8(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,77% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi 0,01% yang artinya sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

Pada gambar 9 diperlihatkan perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan filter aktif *shunt* pada fasa S.



(a)



(b)



(c)

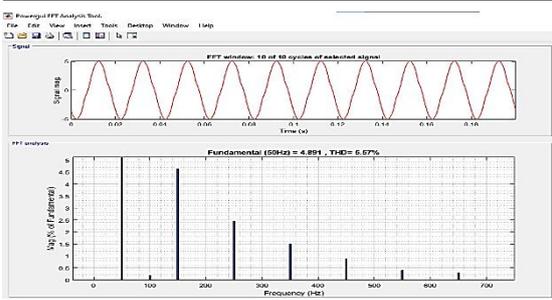
Gambar 9 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa S

Gambar 9 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 9(a) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami distorsi dengan nilai THD<sub>I</sub> sebesar 5,93%.

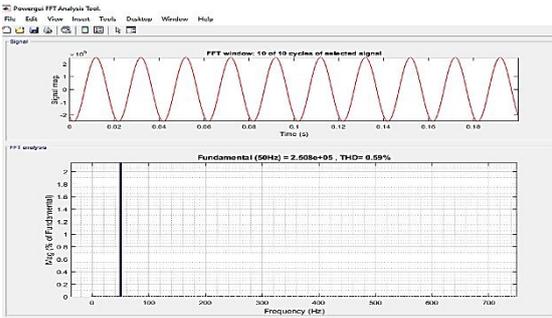
Gambar 9(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai THD<sub>I</sub> fasa R mengalami penurunan sebesar 5,25%, dengan nilai THD<sub>I</sub> yang baru sebesar 0,68%.

Gambar 9(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,61% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi bernilai 0 % yang sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

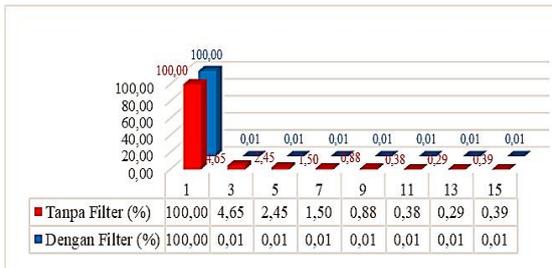
Pada gambar 10 diperlihatkan perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan filter aktif *shunt* pada fasa T.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa T

Gambar 10 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 10(a) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami distorsi dengan nilai  $THD_I$  sebesar 5,57%.

Gambar 10(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil

dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai  $THD_I$  fasa R mengalami penurunan sebesar 4,98%, dengan nilai  $THD_I$  yang baru sebesar 0,59%.

Gambar 10(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,65% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi bernilai 0,01% yang artinya sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan terhadap data hasil pengukuran dan simulasi yang telah dilakukan pada panel BTS, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai harmonisa pada BTS sistem tegangan 3 fasa hasil pengukuran, diperoleh hasil  $THD_V$  pada fasa R, S, dan T sebesar 1,62%, 0,01% dan 1,34% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014, sedangkan nilai  $THD_I$  pada fasa R S, dan T sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan sumber arus harmonisa dominan terjadi pada orde ke-3 pada setiap fasa R, S dan T.
2. Nilai harmonisa arus berdasarkan hasil simulasi rancangan filter aktif *shunt* menggunakan matlab simulink, adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai  $THD_I$  sesudah menggunakan filter aktif pada fasa R, S dan T

sebesar 0,15%, 0,68% dan 0.59% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014.

- b. Nilai harmonisa arus dominan orde ke-3 telah memenuhi standar IEEE 519-2014, yaitu sebesar 0,01%, 0% dan 0,01% untuk fasa R, S dan T.

## 5.2 Saran

Disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap filter BTS dengan menggunakan *hybrid active filter* supaya tingkat harmonisa memenuhi standard.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratama, M. Y. (2021). Urgensi dan Upaya Pemerintah Untuk Transformasi Digital Indonesia. Katadata.co.id.
- [2] 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). Lektrom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 3(1), 8-8.
- [3] Duarsana, I. Nyoman, I. Wayan Rinas, and I. Wayan Arta Wijaya. (2021). Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Phasa Terhadap Pengaruh Harmonisa (THD) Dengan Penambahan Filter Aktif Menggunakan Matlab. Jurnal SPEKTRUM Vol 8.1
- [4] Milani, K. R., Adham, B., Banaei, M. R., & Kazemi, F. M. (2017). Measurement and analysis of base transceiver stations power quality parameters and assessment of its unfavourable effects on Iran distribution systems. CIREN-Open Access Proceedings Journal, 2017(1), 761-765.
- [5] IEEE Power and Energy Society. IEEE Std 519-2014. (2014). *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [6] Wakileh, George J. (2001). Power Systems Harmonics Fundamentals, Analysis and Filter Design. Verlag Berlin Heidelberg New York.
- [7] Francisco, C. D. L. R. (2006). *Harmonics and power systems*. CRC press.
- [8] Dugan, C Roger. (2004). *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw-Hill.
- [9] Chen, W. K. (Ed.). (2002). *The circuits and filters handbook*. CRC Press.
- [10] Rashid, M. H. (Ed.). (2017). *Power electronics handbook*. Butterworth-heinemann.
- [11] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Edisi Ketiga)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [12] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. (2014). *Instruction Manual Power Quality Analyzer KEW 6315*.