
Analisa Harmonisa Pada *Base Transceiver Station* (BTS) Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) – Jakarta

Filip Donatal¹, Eva Magdalena Silalahi², Robinson Purba³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta

*Alamat korespondensi: filipdonatal18@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini, telah mencapai teknologi 4G LTE, bahkan sudah ada yang menerapkan teknologi 5G. Salah satu infrastruktur yang menunjang kemajuan teknologi telekomunikasi tersebut adalah BTS. Komponen pada BTS antara lain, *rectifier*, *microwave link*, perangkat radio BTS, *air conditioner* (AC). Komponen ini termasuk kategori beban listrik nonlinier yang menimbulkan masalah harmonisa pada BTS. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran tingkat harmonisa pada setiap BTS untuk dilakukan kajian yang mencakup tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus akibat komponen nonlinier pada BTS termasuk BTS di Gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UKI Jakarta. Berdasarkan pengukuran harmonisa yang dilakukan pada BTS ini, diperoleh hasil yaitu: BTS memiliki nilai total distorsi arus, THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Nilai total distorsi tegangan, THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014. Nilai THDi dominan pada BTS terjadi pada orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% dan orde ke-5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

Kata Kunci: harmonisa, BTS, distorsi gelombang, THD

ABSTRACT

The current development of telecommunications technology has reached 4G LTE technology, and some have even implemented 5G technology. One of the infrastructures that supports the advancement of telecommunication technology is the BTS. Components in BTS include, rectifier, microwave link, BTS radio equipment, air conditioner (AC). This component belongs to the category of nonlinear electrical loads which cause harmonic problems in BTS. Therefore, it is necessary to measure the harmonic level at each BTS for a study that includes the level of voltage and current harmonic distortion due to nonlinear components in BTS including BTS in the Mechanical Engineering Study Program Laboratory Building, Faculty of Engineering, UKI Jakarta. Based on the harmonic measurements carried out on this BTS, the results obtained are: BTS has a total current distortion value, THDi of 10.16% which exceeds the IEEE 519-2014 standard. The total value of voltage distortion, THDv is 1.11%, which still meets the IEEE 519-2014 standard. The dominant THDi value in BTS occurs in the 3rd order with a THDi of 8.7% and the 5th

order with a THDi of 4.2% exceeding the 4% limit of the IEEE 519-2014 standard.

Keywords: *harmonics, BTS, wave distortion, THD*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat memiliki dampak yang cukup besar bagi kehidupan manusia. Teknologi telekomunikasi, merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat. Pada perkembangannya saat ini teknologi telekomunikasi sudah mencapai teknologi 4G LTE, bahkan sudah ada yang menerapkan teknologi 5G [1]. Keberadaan BTS ini sangat penting untuk setiap daerah terutama di daerah yang belum memiliki jaringan internet. Dengan demikian, perlu di bangun BTS pada setiap daerah sebagai sarana untuk mengakses internet dengan baik dan dapat di gunakan oleh masyarakat untuk mengakses informasi dan komunikasi. BTS berfungsi untuk mengirimkan serta menerima sinyal radio ke fitur komunikasi semacam telepon rumah, telepon seluler serta sejenis gadget yang lain. Setelah itu sinyal radio tersebut hendak diganti jadi sinyal digital yang berikutnya dikirim ke halte yang lain jadi suatu pesan ataupun informasi [2].

BTS dalam menjalankan fungsinya, menggunakan komponen peralatan listrik seperti *rectifier*, *microwave link*, perangkat radio BTS, AC dan lainnya. Peralatan listrik ini termasuk kategori beban listrik nonlinier. Berdasarkan fakta penelitian, ditemukan bahwa, beban nonlinier adalah sumber harmonisa bagi sistem tenaga listrik. Efek dari harmonisa dapat menyebabkan rusaknya peralatan transformator, mesin-mesin listrik, *fuse*, dan rele proteksi. Transformator, motor listrik dan peralatan pemutus (*switchgear*) dapat mengalami pemanasan yang

berlebihan, mengakibatkan kerusakan peralatan. Motor induksi akan mengalami kegagalan start dan berputar pada kecepatan subsinkron (*subsynchronous speeds*) [3].

Beberapa penelitian memperlihatkan munculnya harmonisa pada sistem jaringan listrik yang disebabkan oleh beban nonlinier yang tidak tidak memenuhi standar IEEE. Penelitian yang di lakukan oleh oleh Fernando Jeremia Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, Robinson Purba, yang dipublikasikan pada 3, Oktober 2020 dengan judul "**Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED)**" memperlihatkan bahwa, LHE dan LED adalah beban nonlinier yang dapat menyebabkan masalah distorsi harmonisa. Penelitian ini menemukan nilai THD_v pada beban LHE dan LED memiliki besaran sama, berkisar antara 0,80% hingga 1,3%. THDi yang dihasilkan LHE serta LED melebihi batas standar 5,0% IEEE 519-2014. Selain itu, penggunaan kedua jenis lampu dengan serentak dapat menurunkan THDi yang didapatkan sebesar 3% sampai 9% [4].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Faisal Irsan Pasaribu dan dipublikasikan pada 15 Juni 2021 dalam Jurnal Elektro dan Telekomunikasi dengan judul "**Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa**" (Volume 5, Nomor 1, halaman 29-34, Juni 2021), ditemukan bahwa, harmonisa timbul akibat penggunaan beban nonlinier. Penelitian ini juga menyajikan bahwa, dampak dari harmonisa adalah meningkatnya suhu

berlebih pada perangkat elektronik yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja dan kerusakan pada perangkat tersebut. Pengukuran dilakukan terhadap tiga jenis laptop yang berbeda merek, dan menunjukkan bahwa harmonisa, yang dihasilkan tidak memenuhi standar IEC dengan nilai THD mencapai 175%^[5].

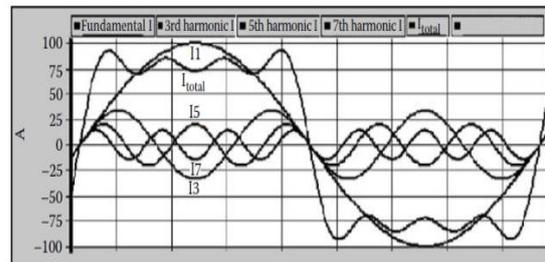
BTS dalam menjalankan fungsinya, diperkirakan menghasilkan harmonisa yang tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan pengukuran harmonisa terhadap setiap BTS termasuk BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin UKI untuk mengetahui tingkat harmonisanya apakah sudah memenuhi standar atau belum. Dalam hal ini, standar yang digunakan adalah standar *IEEE 519-2014*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang tegangan dan arus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar yang terbentuk akibat penggunaan beban nonlinier^[6,7]. Apabila frekuensi dasar 50Hz, maka harmonisa akan terbentuk pada frekuensi 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz dan seterusnya. Distorsi gelombang ini terjadi karena adanya gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar, dimana bentuk gelombang arus dan tegangan yang awalnya berbentuk sinusoidal murni dan akan tidak beraturan atau cacat karena adanya distorsi harmonisa^[6]. Gambar 1 memperlihatkan gelombang harmonisa dengan kelipatan tiga, kelipatan lima, dan kelipatan tujuh terhadap frekuensi gelombang fundamental. Penjumlahan antara gelombang pada frekuensi dasar dengan gelombang pada frekuensi kelipatan tiga,

kelipatan lima dan kelipatan tujuh dari frekuensi dasar, menjadi cacat gelombang (gelombang terdistorsi).



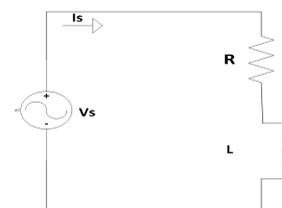
Gambar 1 Cacat Gelombang Akibat Harmonisa^[8]

2.2 Beban listrik linier

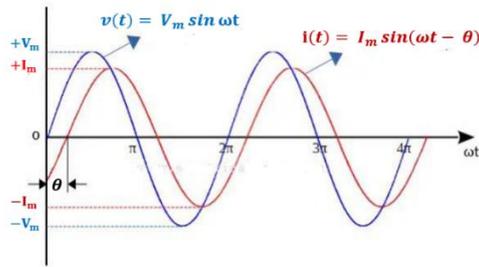
Beban listrik linier merupakan beban yang menghasilkan bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan pada setiap saat^[6,7]. Contoh beban listrik linier adalah: pemanas, lampu pijar, setrika, dan lain sebagainya.

Gambar 2 (a) memperlihatkan rangkaian yang dibentuk oleh beban linier, terdiri dari resistansi R dengan induktansi L 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 θ dan arus menyusul terhadap tegangan.



(a)



(b)

Gambar 2 Contoh Beban Linier

Keterangan:

V_m = nilai maksimum dari tegangan, volt

I_m = nilai maksimum dari arus, ampere

ω = frekuensi sudut, $2\pi f$ rad/det

f = frekuensi, hertz

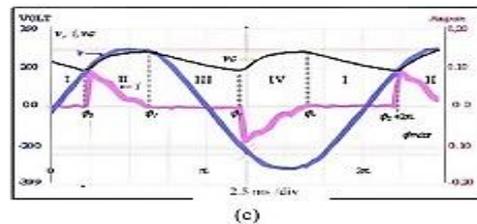
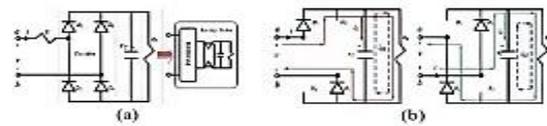
t = waktu, detik

θ = sudut fase antara tegangan dengan arus, derajat

2.3 Beban listrik non linier

Beban nonlinier, merupakan beban listrik yang menghasilkan bentuk gelombang arus tidak sama terhadap gelombang tegangan yang diberikan oleh sumber tegangan pada setiap saat. Akibatnya muncul gelombang yang mengalami distorsi harmonisa^[6,7]

Gambar 3(a) menunjukkan suatu rangkaian yang menggunakan lampu *compact fluorescent lamp* (CFL) sebagai beban nonlinier. Gambar 3(b) prinsip kerja dari penyearah dimana, ketika arus listrik mengalir melalui sebuah dioda pada setengah siklus gelombang AC, dioda tersebut hanya melewati setengah gelombang, sementara setengah gelombang lainnya diblokir sehingga mengakibatkan terjadinya distorsi harmonik pada gelombang arus sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3(c) yang tidak sinusoidal sedangkan gelombang tegangan sinusoidal.



(c)

Gambar 3 Contoh Beban Nonlinier^[4,9]

2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

THD adalah ukuran dari nilai efektif pada komponen harmonisa bentuk gelombang terdistorsi. Jika gelombang arus mengandung harmonisa^[6,7], maka nilai harmonisa individual untuk setiap urutan (orde) harmonisa ditentukan berdasarkan persamaan (1).

$$I_h = \frac{I_n}{I_1} \times 100\%$$

(1)

Nilai THD arus, ditentukan berdasarkan persamaan (2).

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

(2)

Nilai THD tegangan, ditentukan berdasarkan persamaan (3).

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$$

(3)

Keterangan:

THD = total harmonic distortion (%)

THDi = total harmonic distortion arus

THDv = total harmonic distortion tegangan

V_h = nilai tegangan harmonik ke-h (V)

V_1 = nilai tegangan frekuensi dasar (V)

I_h = nilai arus harmonik ke-h (A)

I_1 = nilai arus frekuensi dasar (A)

2.5 Standar IEEE 519-2014 untuk THD_v dan THD_i

Standar IEEE 519-2014 untuk THD tegangan dapat dilihat pada tabel 2.1 yang mencantumkan nilai batas maksimum untuk distorsi harmonisa tegangan.

Tabel 2.1 Batas Distorsi Tegangan [10]

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

Standar IEEE 519-2014 untuk THD arus dapat dilihat pada tabel 2.2, dimana pelanggan yang terhubung ke sistem harus tetap berada dalam batas THD arus 120V hingga 69 kV.

Tabel 2.2 Batas Distorsi Arus untuk Sistem 120V hingga 69 kV [10]

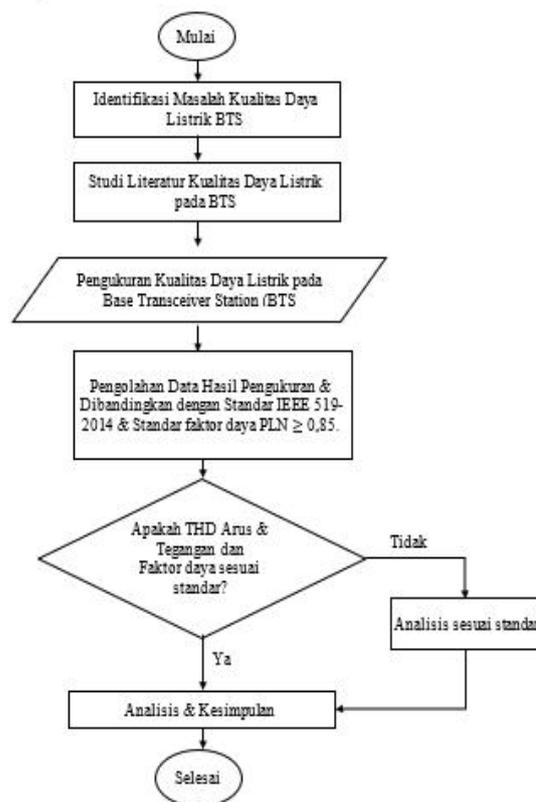
Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	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

3. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Seperti yang dijelaskan oleh *Creswell*, bahwa metode kuantitatif melibatkan langkah-langkah seperti pemilihan topik penelitian, merumuskan masalah secara spesifik, membatasi cakupan masalah, mengumpulkan data, dan menganalisis data menggunakan metode statistik [11,12]

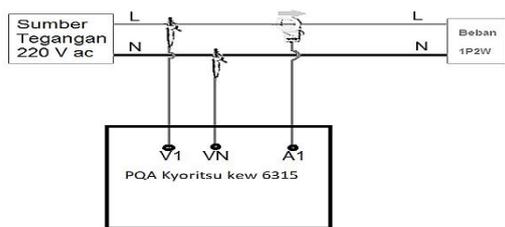
Berdasarkan asumsi yang digunakan dan tujuan penelitian yang ingin dicapai,

maka metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yang diperlihatkan berupa diagram alur penelitian seperti pada gambar 4.



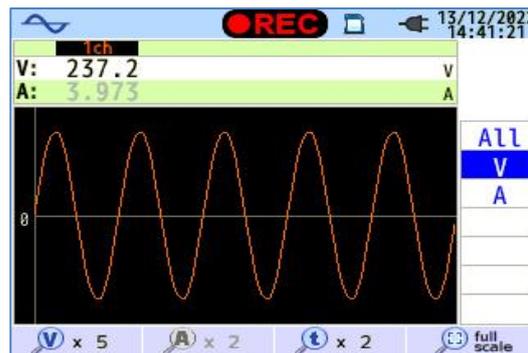
Gambar 4 Diagram alur penelitian

Untuk mengetahui pengaruh harmonisa terhadap beban non-linier pada BTS maka digunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA) Kyoritsu KEW 6315^[13], dan agar mempermudah pengambilan data maka diperlukannya rangkaian pengukuran. Pada gambar 3.2 memperlihatkan rangkaian pengukuran yang akan digunakan untuk pengambilan data harmonisa pada panel BTS.



G

ambar 5 Rangkaian pengukuran berdasarkan rangkaian 1P2W (*1 phase 2 wire*)^[13]



Gambar 4.1: Gelombang Tegangan Hasil Pengukuran dengan THD_v 1.11%

4. HASIL DAN

PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data dan Hasil

Tabel 4.1 memperlihatkan data hasil pengukuran harmonisa tegangan dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15

Tabel 4.1 Data THD_v Hasil Pengukuran Tegangan.

Orde ke-n	THD _v orde ke-n (V)	THD _v orde ke-n (%)
1	236.7 ∠ 0,0°	100
2	0.0 ∠ - 85,7°	0.0
3	0.4 ∠ - 110,3°	0.2
4	0.0 ∠ - 81,1°	0.0
5	2.3 ∠ - 178,0°	1.0
6	0.0 ∠ - 77,0°	0.0
7	0.8 ∠ - 144,2°	0.3
8	0.0 ∠ - 74,0°	0.0
9	0.1 ∠ 62,7°	0.0
10	0.0 ∠ - 70,1°	0.0
11	1.0 ∠ 0,1°	0.3
12	0.0 ∠ - 66,1°	0.0
13	0.1 ∠ - 109,1°	0.0
14	0.0 ∠ - 62,2°	0.0
15	0.0 ∠ - 60,2°	0.0
Total THD _v		1.11

Dari data pada tabel 4.1 didapatkan nilai THD_v yang di hitung menggunakan persamaan (3) sebesar 1,11%.

Gambar 4.1 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan sesaat dengan nilai tegangan sesaat sebesar 237,2volt yang diperoleh pada saat pengukuran dilakukan.

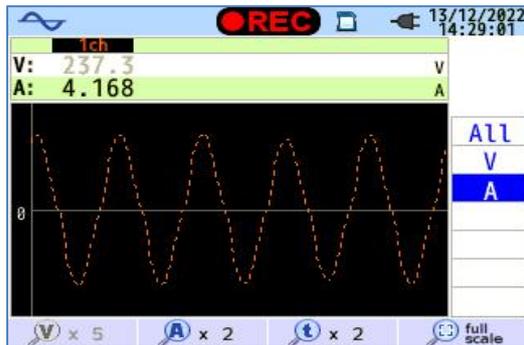
Tabel 4.2 memperlihatkan data untuk nilai harmonisa arus dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15.

Tabel 4.2 Data THD_i Hasil Pengukuran Arus

Orde ke-n	THD _i orde ke-n (A)	THD _i orde ke-n (%)
1	4.117 ∠ - 64,5°	100
2	0.007 ∠ 4,1°	0.2
3	0.342 ∠ - 40,4°	8.7
4	0.001 ∠ 53,0°	0.0
5	0.170 ∠ - 156,9°	4.2
6	0.001 ∠ 11,9°	0.0
7	0.107 ∠ 133,2°	2.8
8	0.001 ∠ - 74,1°	0.0
9	0.046 ∠ 51,5°	1.0
10	0.000 ∠ - 70,2°	0.0
11	0.033 ∠ 23,9°	0.8
12	0.000 ∠ - 66,2°	0.0
13	0.029 ∠ 28,7°	0.6
14	0.000 ∠ - 62,3°	0.0
15	0.012 ∠ - 82,1°	0.3
Total THD _i		10.16

Dari data pada tabel 4.2 didapatkan nilai THD_i yang di hitung menggunakan persamaan (2) sebesar 10.16 %. THDi dominan terjadi pada orde ke-3 sebesar

8,7%, THDi orde ke-5 sebesar 4,2% dan THDi orde ke-7 sebesar 2,8%.



Gambar 4.2: Gelombang Arus Hasil Pengukuran dengan THDi 10,16%.

Gambar 4.2 memperlihatkan bentuk gelombang arus sesaat sebesar 4.168 A pada saat pengukuran dilakukan. Terlihat bahwa kurva gelombang arus tidak mulus sinusoidal dengan THDi 10,16%.

4.2 Penentuan nilai THD maksimum

Dalam menentukan standar distorsi arus harmonisa, yang sesuai pada standar IEEE 519-2014. maka terlebih dahulu ditentukan rasio I_{sc}/I_L pada sistem tegangan 220 volt. Mengacu kepada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011) perbandingan I_{sc}/I_L adalah 1,45^[14]. Merujuk kepada standar IEEE 519-2014, rasio I_{sc}/I_L kurang dari 20, untuk $3 \leq$ untuk orde harmonisa < 11 , maka THDi arus maksimum sebesar 4,0%.

Batas maksimum THDv tegangan untuk sistem tegangan ≤ 1 kV (sistem tegangan 220 V) sebesar 5,0%.

Tabel 4.3 menyatakan apakah harmonisa tegangan sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4.3 THD Tegangan Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde ke-n	THD_v orde ke-n (volt)	THD_v orde ke-n (%)	Standar IEEE 519-2014 ($< 5\%$)
1	236.7 \angle 0,0°	100	—
2	0.0 \angle - 85,7°	0.0	Memenuhi standar
3	0.4 \angle - 110,3°	0.2	Memenuhi standar
4	0.0 \angle - 81,1°	0.0	Memenuhi standar
5	2.3 \angle - 178,0°	1.0	Memenuhi standar
6	0.0 \angle - 77,0°	0.0	Memenuhi standar
7	0.8 \angle - 144,2°	0.3	Memenuhi standar
8	0.0 \angle - 74,0°	0.0	Memenuhi standar
9	0.1 \angle 62,7°	0.0	Memenuhi standar
10	0.0 \angle - 70,1°	0.0	Memenuhi standar
11	1.0 \angle 0,1°	0.3	Memenuhi standar
12	0.0 \angle - 66,1°	0.0	Memenuhi standar
13	0.1 \angle - 109,1°	0.0	Memenuhi standar
14	0.0 \angle - 62,2°	0.0	Memenuhi standar
15	0.0 \angle - 60,2°	0.0	Memenuhi standar
Total THD_v		1.11	Memenuhi standar

Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa, harmonisa tegangan dari orde ke-1 sampai orde ke-15 dengan THD_v sebesar 1,11% telah sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar standar IEEE 519-2014 dan nilai THD_v setiap orde ganjil juga memenuhi standar IEEE 519-2014.

Tabel 4.4 menyatakan apakah harmonisa arus telah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4.4 THD Arus Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde ke-n	THD_i orde ke-n (A)	THD_i orde ke-n (%)	Standar IEEE 519-2014 (<5%)
1	$4.117 \angle -64,5^\circ$	100	---
2	$0.007 \angle 4,1^\circ$	0.2	Memenuhi standar
3	$0.342 \angle -40,4^\circ$	8.7	Tidak Memenuhi standar
4	$0.001 \angle 53,0^\circ$	0.0	Memenuhi standar
5	$0.170 \angle -156,9^\circ$	4.2	Tidak Memenuhi standar
6	$0.001 \angle 11,9^\circ$	0.0	Memenuhi standar
7	$0.107 \angle 133,2^\circ$	2.8	Memenuhi standar
8	$0.001 \angle -74,1^\circ$	0.0	Memenuhi standar
9	$0.046 \angle 51,5^\circ$	1.0	Memenuhi standar
10	$0.000 \angle -70,2^\circ$	0.0	Memenuhi standar
11	$0.033 \angle 23,9^\circ$	0.8	Memenuhi standar
12	$0.000 \angle -66,2^\circ$	0.0	Memenuhi standar
13	$0.029 \angle 28,7^\circ$	0.6	Memenuhi standar
14	$0.000 \angle -62,3^\circ$	0.0	Memenuhi standar
15	$0.012 \angle -82,1^\circ$	0.3	Memenuhi standar
Total THD_i		10.16	Tidak Memenuhi standar

Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa, harmonisa arus tiap orde telah memenuhi standar IEEE 519-2014 dengan THDi sebesar 10,16%. kecuali untuk harmonisa arus orde ke-3 dan orde ke-5 dimana nilai arus harmonisa orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014. Dan nilai arus harmonisa orde 5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

4.3 Analisa Hasil Pengolahan Data

Hasil data memperlihatkan bahwa, BTS memiliki THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Namun, juga diperoleh nilai THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014.

THDi dominan pada orde ke-3 sebesar 8,7% dan orde ke-5 sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

Tingginya THDi pada BTS tersebut disebabkan karena adanya beban nonlinier sebagai sumber harmonisa arus pada komponen beban listrik BTS.

Umumnya beban listrik nonlinier merupakan peralatan listrik elektronik yang memiliki komponen semikonduktor dimana prinsip kerja peralatan listrik tersebut seperti saklar untuk setiap siklus gelombang sumber tegangan. Komponen beban nonlinier yang terdapat pada BTS antara lain:

1. *Antena Microwave*; berfungsi sebagai penerima serta pemancar gelombang radio BTS menuju BSC ataupun BTS menuju BTS.
2. Antena sektoral berfungsi sebagai penghubung BTS dengan perlengkapan komunikasi.
3. *Rectifier* berfungsi sebagai konversi tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah yang terpasang pada BTS.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan terhadap hasil pengolahan data maka, dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

1. BTS memiliki tingkat THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Namun, nilai THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014.
2. Nilai THDi dominan pada BTS terjadi pada orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% dan orde ke-5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

5.2 Saran

Disarankan melakukan penelitian filter, dalam rangka menentukan jenis filter yang cocok, agar tingkat harmonisa dari BTS, memenuhi standar IEEE 519-2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pradhesta, L. E., Imansyah, F., Kusumawardhani, E., & Marindani, E.D., 2022. *Analisis Pengaruh Besar Dimeter Antena Microwave Terhadap Kinerja BTS (Base Transceiver Station)*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 2(1).
- [2] Sasa Ani Arnomo. (2021). Analisa Decision Tree untuk Kepuasan Penggunaan Sinyal dari Base Transceiver Station (BTS). Jurnal dan sistem teknologi informasi. Vol. 9, No. 2, April 2021
- [3] Darmawan A. Mohammad, Amir Fauzi Muhammad. (2014). Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik. *LPKEE ITB's students blog*
- [4] Jeremia Fernando Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, dan Robinson Purba. (2020). *Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED)*. Lektrokom Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro Volume 3, Oktober 2020, ISSN 2686-1534
- [5] Pasaribu, Faisal Irsan. (2021). Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi, vol. 5, no. 1. pp. 29–34.
- [6] George J. Wakileh. (2001). *Power Systems Harmonics Fundamentals, Analysis and Filter Design*. Verlag Berlin Heidelberg New York
- [7] Dugan, C Roger. 2004. *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw-Hill
- [8] Rosa, Francisco C. De La. (2006). *Harmonics and Power Systems*. 2nd ed. Boca Raton, London, New York.: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420004519.
- [9] Heryana, Nana., Iskandar, Handoko Rusiana., Widodo, Bambang., & Purba, Robinson. (2019). Compact Fluorescence Lamp Based on Power Electronics Technology : Its Advantages and Disadvantages. *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, pp. 99–108. doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.99-108
- [10] IEEE Power and Energy Society, IEEE Std 159™-2014. (2014) *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [11] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Edisi Ketiga)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [12] Suharsaputra, Uhar. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*. Bandung: Refika Aditama, 2012
- [13] Quick Manual PQA Kyoritsu KEW6315.
- [14] Persyaratan Umum Instalasi Listrik. (2011). (PUIL 2011). Pp. 161