

Analisa Harmonisa Dan Simulasi Filter Pasif Pada Kawat Netral BTS Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia.

¹Jekson Supardi Malau*,²Eva Magdalena Silalahi,³Robinson Purba

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

^{1,2,3}Jl. Mayjen Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur, 13630, DKI Jakarta

*Corresponding author : Jekson09062001@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan terhadap BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI, Jakarta dengan tujuan untuk mengetahui harmonisa pada kawat netral BTS yang mencakup tingkat distorsi tegangan dan arus akibat pemakaian komponen listrik yang bersifat nonlinier pada BTS. Dalam penelitian ini, standar yang digunakan sebagai acuan, adalah standar IEEE 519-2014. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa Total Harmonic Distortion Current (THDi) pada BTS sebesar 224,72% dan tidak memenuhi standar. Arus harmonisa dominan yaitu orde ke-3 dengan THDi 219,02% dan orde ke-9 dengan THDi 47,56% yang melebihi batas standar IEEE 519-2014. Dan Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) 1,59% dan memenuhi standar. Hasil simulasi filter pasif single tuned LC mampu mereduksi tingkat THDi arus yang mengalir pada BTS sebesar 217,66% dengan menggunakan software Matlab/Simulink. Arus yang mengalir pada kawat netral berdasarkan pengukuran sebesar 1,1 ampere dengan nilai THDi 224,72%, dan setelah difilter, THDi turun menjadi 7,06%, namun masih belum memenuhi standar. Arus harmonisa dominan yang mengalir pada kawat netral adalah orde ke-3 dengan THDi 219,02% dan orde ke-9 dengan THDi 47,56%, yang melebihi batas standar dan THDv keseluruhan sebesar 1,59%.

Kata Kunci: Base Transceiver Station, filter pasif, harmonisa, kawat netral, Matlab

Abstract

This research was conducted on BTS in the Mechanical Engineering Study Program Building, Faculty of Engineering, UKI, Jakarta with the aim of knowing the harmonics on the neutral wire of BTS which includes the level of voltage and current distortion due to the use of non-linear electrical components in BTS. In this study, the standard used as a reference is the IEEE 519-2014 standard. Based on the results of the research conducted, it was found that the Total Harmonic Distortion Current (THDi) at BTS was 224.72% and did not meet the standards. The dominant harmonic currents are 3rd order with 219.02% THDi and 9th order with 47.56% THDi which exceed the IEEE 519-2014 standard limits. And Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) is 1.59% and meets the standard. The simulation results of a single tuned LC passive filter can reduce the THDi level of the current flowing in the BTS by 217.66% using Matlab/Simulink software. The current flowing in the neutral wire is based on a measurement of 1.1 amperes with a THDi value of 224.72%, and after being filtered, the THDi drops to 7.06%, but still does not meet the standard. The dominant harmonic currents flowing in the neutral wire are 3rd order with 219.02% THDi and 9th order with 47.56% THDi, which exceed the standard limit and 1.59% overall THDv.

Keywords: Base Transceiver Station, passive filter, harmonics, neutral conductor, Matlab

1. PENDAHULUAN

Di era saat ini, sistem telekomunikasi menjadi faktor penting dalam mempercepat transformasi digital di Indonesia. Salah satu langkah yang diambil adalah melakukan pembangunan 421 unit BTS yang bertujuan untuk dapat menjangkau 12,5 juta jiwa pada tahun 2021. Upaya ini dilakukan untuk peningkatan konektivitas digital diseluruh penjuru tanah air, termasuk wilayah terdepan, terluar dan tertinggal (3T)^[1]

BTS lebih dikenal dengan sebutan menara pemancar merupakan infrastruktur telekomunikasi yang menjadi pendukung komunikasi antara perangkat komunikasi jaringan seluler dengan jaringan lainnya. BTS memiliki komponen diantaranya komponen yang bersifat nonlinier seperti *rectifier*, *microwave link*, perangkat radio BTS, *air conditioner* (ac) dan lainnya^[2]

Beban nonlinier seperti *Lampu Hemat Energi* (LHE) dan *Light Emitting Diode* (LED) merupakan sumber harmonisa pada sistem tenaga listrik. Hasil penelitian terhadap LHE dan LED menunjukkan bahwa, nilai THDv sebesar 0,80% -1,3% dan nilai THDi sebesar 68,57% -78,68%. Nilai THDi untuk beban LED sebesar 72,15% - 86,04%. Nilai tersebut tidak memenuhi standar. Tingkat distorsi harmonisa arus dan tegangan dapat diukur dalam kuantitas *Total Distortion Harmonic* (THD) dan mengacu kepada standar IEEE 519-2014^[3,4]. Harmonisa yang tidak memenuhi standar dapat menimbulkan kerugian pada sistem kelistrikan, salah satunya yaitu, menimbulkan arus pada kawat netral yang dapat menyebabkan *overheating* (panas berlebih) dan dapat mengurangi umur peralatan pada sistem jaringan kelistrikan^[5].

Harmonisa pada dasarnya dapat diredam dengan menggunakan filter pasif *single tuned LC*. Hasil penelitian

harmonisa memperlihatkan bahwa, penggunaan filter pasif pada *Variable Speed Drive* (VSD) dengan beban *Motor Electrical Submersible Pump* (ESP), dapat mengurangi tingkat harmonisa jika dibandingkan dengan kondisi tanpa menggunakan filter pasif. Sebelum menggunakan filter pasif *single tuned LC*, nilai THDi sebesar 93,03% dan setelah menggunakan filter pasif, nilai THDi mengalami penurunan 5% dan telah memenuhi standar^[6].

Hasil pengukuran tingkat harmonisa yang pernah dilakukan sebelumnya pada BTS, memperlihatkan bahwa, THDv untuk fasa R, S dan T sebesar 7%, 7,3%, dan 6,6%, serta THDi untuk fasa R, S dan T sebesar 24%, 9,5%, dan 17,2%^[7], tidak memenuhi standar.

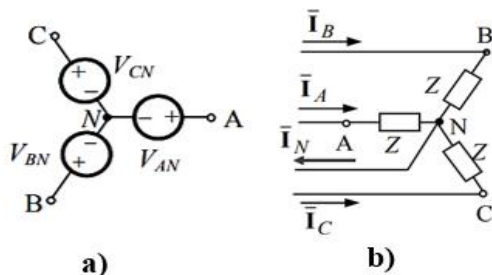
BTS dalam menjalankan fungsinya, berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan^[3,6,7], diperkirakan menghasilkan harmonisa yang tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran harmonisa terhadap setiap BTS, termasuk BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI Jakarta, untuk mengetahui apakah tingkat harmonisa dari BTS ini, sudah memenuhi standar atau belum. Apabila hasil pengukuran harmonisa tidak memenuhi standar maka, perlu dilakukan perancangan filter pasif *single tuned LC* dengan menggunakan *software* MATLAB^[8]. Standar yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini adalah standar IEEE 519-2014.

2. KERANGKA TEORI

2.1 Sistem 3 Fasa 4 Kawat

Sistem 3 fasa 4 kawat merupakan sistem yang terdiri dari sumber tegangan tiga fasa (A, B dan C) hubungan bintang (Y) sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1 (a) dihubungkan dengan,

misalnya, beban tiga fasa hubungan Y, seperti diperlihatkan pada gambar 1 (b). Sumber tegangan tiga fasa pada gambar 1 (a) terdiri dari tiga sumber tegangan satu fasa yang identik satu dengan lainnya, dihubungkan secara Y dengan titik temu dari ketiganya pada titik netral (N) dan beda fase antar sumber tegangan sebesar 120° .



Gambar 1 sumber tegangan dan beban tiga fasa hubungan Y [9,10]

Keterangan:

A, B dan C = fasa A, fasa B dan fasa C

Z = impedansi, ohm

V_{AN} = tegangan fasa A terhadap netral (volt)

V_{BN} = tegangan fasa B terhadap netral (volt)

V_{CN} = tegangan fasa C terhadap netral (volt)

\bar{I}_A = arus yang mengalir pada fasa A (ampere)

\bar{I}_B = arus yang mengalir pada fasa B (ampere)

\bar{I}_C = arus yang mengalir pada fasa C (ampere)

\bar{I}_N = arus yang mengalir pada penghantar netral (ampere)

Persamaan arus pada titik netral N gambar 1 (b), dapat ditentukan berdasarkan hukum arus Kirchhoff (*Kirchhoff's current law*, disingkat KCL), sebagaimana dinyatakan oleh persamaan (1) [9,10].

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C - \bar{I}_N = 0$$

atau:

$$\bar{I}_N = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C \quad (1)$$

Apabila beban tiga fasa dengan impedansi Z seimbang dan tegangan seimbang, maka arus fasor netral, $\bar{I}_N = 0$. Artinya, secara teoritis, arus tidak mengalir pada kawat netral.

Apabila beban tiga fasa dengan impedansi Z tidak seimbang dan tegangan seimbang, maka persamaan arus fasor (1) dinyatakan menjadi persamaan (2).

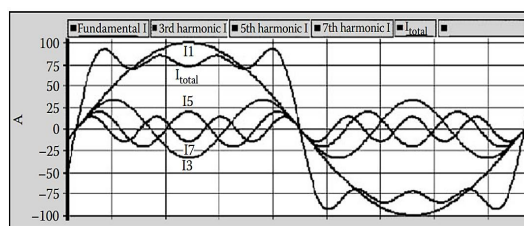
$$\bar{I}_N = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C \neq 0 \quad (2)$$

Apabila arus mengalir pada penghantar netral dalam kondisi beban Z seimbang, maka kehadiran arus ini patut diduga sebagai arus harmonisa akibat beban nonlinier [10].

2.2 Harmonisa

Harmonisa pada sinyal listrik mengacu pada kandungan sinyal dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar, seperti yang terlihat pada gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat ganjil yaitu kelipatan dari tiga (I_3), lima (I_5), dan tujuh (I_7) terhadap gelombang frekuensi dasar (I_1). Apabila gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat ganjil dijumlahkan terhadap frekuensi dasar, akan menghasilkan gelombang yang mengalami distorsi (I_{total}) [12].



Gambar 2 Gelombang sinusoidal terdistorsi [12]

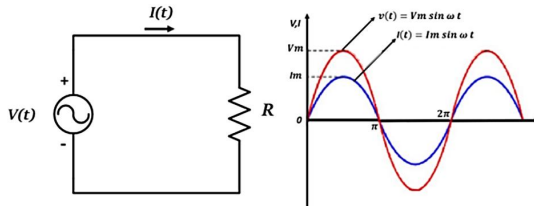
2.3 Beban pada sistem kelistrikan

2.3.1 Beban Linier

Beban linear adalah beban yang menghasilkan gelombang arus yang sama

dengan gelombang tegangan. Beberapa peralatan listrik yang termasuk kategori beban linier adalah setrika, pemanas, dan lampu pijar, dan lainnya^[11].

Pada Gambar 3 memperlihatkan rangkaian beban linier dengan beban resistor (R) terhubung ke sumber tegangan $v(t) = V_m \sin \omega t$ volt, sehingga mengalir arus $i(t) = I_m \sin \omega t$ ampere yang menghasilkan gelombang arus dan tegangan berbentuk sinusoidal.



Gambar 3 Beban listrik linier

Keterangan:

$v(t)$ = tegangan sumber

$i(t)$ = arus yang mengalir pada beban linier

V_m = harga maksimum dari tegangan (volt)

I_m = harga maksimum dari arus (ampere)

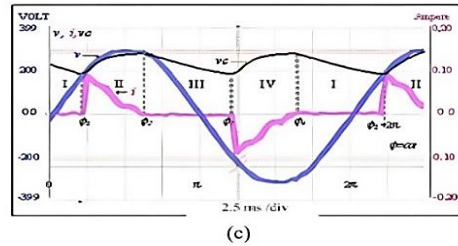
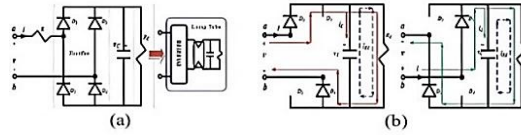
$\sin(\omega t)$ = fungsi sinus dari sudut ωt

ω = frekuensi angular (rad/s)

t = waktu (detik)

2.3.2 Beban Nonlinier

Beban nonlinier merupakan jenis beban yang menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sama sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4 Beban listrik nonlinier^[13]

Gambar 4(a), memperlihatkan rangkaian beban nonlinier yang terdiri dari empat dioda (D_1, D_2, D_3, D_4) dengan arus masukan i , tegangan masukan v , dan tegangan keluaran searah (tegangan pada kapasitor V_c). Rangkaian ini menggunakan lampu *Compact Fluorescent Lamp* (CFL) sebagai beban. Gambar 4(b) memperlihatkan siklus arus bolak-balik yang mengalir dalam rangkaian dan pada gambar 4(c) terlihat gelombang tegangan sinusoidal (garis biru) dan arus dalam bentuk non-sinusoidal (garis merah).

2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

THD merupakan indeks yang mengukur nilai efektif komponen harmonisa pada gelombang yang mengalami distorsi. THD merupakan persentase dari total nilai efektif (*root mean square*) dari semua komponen harmonisa terhadap sinyal fundamental. Untuk menghitung THD dari gelombang tegangan, digunakan persamaan (3)^[10,12].

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

(3)

Keterangan:

V_h = nilai tegangan harmonisa pada frekuensi harmonisa "h"

V_1 = nilai fundamental tegangan

h = orde harmonisa (2,3,4,5,.....)

Untuk menghitung THD dari gelombang arus, digunakan persamaan (4)^[10,12].

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (4)$$

Keterangan:

I_h = nilai arus harmonisa pada frekuensi harmonisa "h"

I_1 = nilai fundamental arus

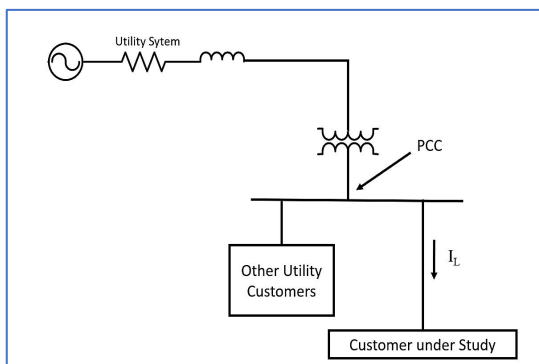
h = orde harmonisa (2,3,4,5,.....)

2.5 Standar Harmonisa

Menurut standar IEEE 519-2014, terdapat dua parameter yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu batas untuk harmonisa tegangan (THD_v) dan batas untuk harmonisa arus (THD_i). Batas standar untuk harmonisa tegangan ditentukan berdasarkan tegangan sistem yang digunakan. Sementara, untuk menentukan batas maksimum harmonisa arus, terlebih dahulu diketahui rasio I_{sc}/I_L ^[10].

2.5.1 Prosedur menentukan rasio I_{sc}/I_L ^[10]

Gambar 5 menunjukkan PCC (*Point of Common Coupling*) yang merupakan sambungan antara utilitas dan pelanggan untuk membatasi terjadinya harmonisa dan merekomendasikan tindakan pencegahan tingginya tingkat harmonisa^[10].



Gambar 5 Titik PCC setelah sisi sekunder transformator distribusi dimana terdapat beberapa beban yang disuplai^[10]

Berdasarkan gambar 5 di atas, maka titik PCC berada pada *main panel* tiga fasa pada BTS.

Berikut ini diberikan prosedur untuk menentukan rasio hubung-pendek (*short-circuit ratio*) I_{sc}/I_L sebagai berikut:

1. Menentukan arus hubung-pendek tiga fasa, I_{sc} pada titik PCC. Untuk menentukan arus hubung-pendek (I_{sc}), digunakan persamaan (5)^[10].

$$I_{sc} = \frac{1000 \times MVA}{\sqrt{3} \text{ kV}} \quad (A) \quad (5)$$

Keterangan:

I_{sc} : arus hubung-pendek tiga fasa (A)

MVA: kapasitas hubung-pendek tiga fasa pada *main panel*

kV : tegangan *line-to-line* pada PCC

2. Tentukan kebutuhan daya beban rata-rata P_D (kW) dalam 12 bulan terakhir, dimana datanya dapat diperoleh dari data tagihan biaya listrik.
3. Setelah diketahui kebutuhan daya beban rata-rata P_D (kW), maka dapat dihitung arus beban rata-rata I_L (A) menggunakan persamaan (6)^[10]:

$$I_L = \frac{kW}{PF \times \sqrt{3} \times kV} \quad (A) \quad (6)$$

Keterangan:

I_L = arus beban rata-rata

PF = faktor daya beban

kW = total daya beban rata-rata

kV = tegangan *line-to-line* pada PCC

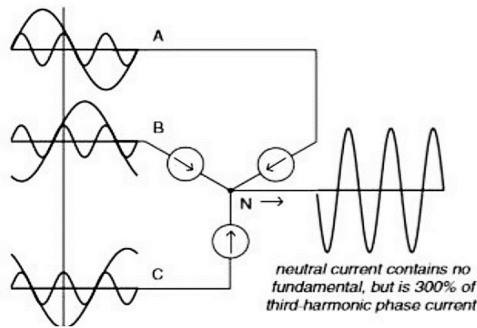
4. Selanjutnya, diperoleh rasio hubung-pendek I_{sc}/I_L menggunakan persamaan (7)^[10].

$$\text{Rasio hubung-pendek} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (7)$$

Rasio hubung-pendek I_{sc}/I_L pada persamaan (7), digunakan untuk menentukan batas arus harmonisa pada standar IEEE 519-2014.

2.6 Arus Netral

Arus netral pada sistem distribusi merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral. Munculnya arus netral dapat disebabkan oleh ketidakseimbangan beban atau harmonisa karena penggunaan beban nonlinier. Gambar 6 memperlihatkan gelombang arus mengalir pada penghantar netral yang diakibatkan harmonisa dengan frekuensi kelipatan tiga (*triplen harmonics*) yaitu, gelombang kelipatan ganjil dimulai dengan harmonisa ketiga ($h= 3,9,15,21\dots$)^[10].



Gambar 6 Arus netral yang tinggi pada rangkaian yang melayani beban nonlinier *single-phase*^[10]

Keterangan:

A, B dan C = fasa A, fasa B dan fasa C

N = netral

Kehadiran arus netral memiliki efek negatif seperti memperpendek umur peralatan, menurunkan kinerja peralatan, menyebabkan panas berlebih pada peralatan^[14]

2.7 Filter Pasif

Filter harmonisa merupakan filter yang menggunakan komponen pasif

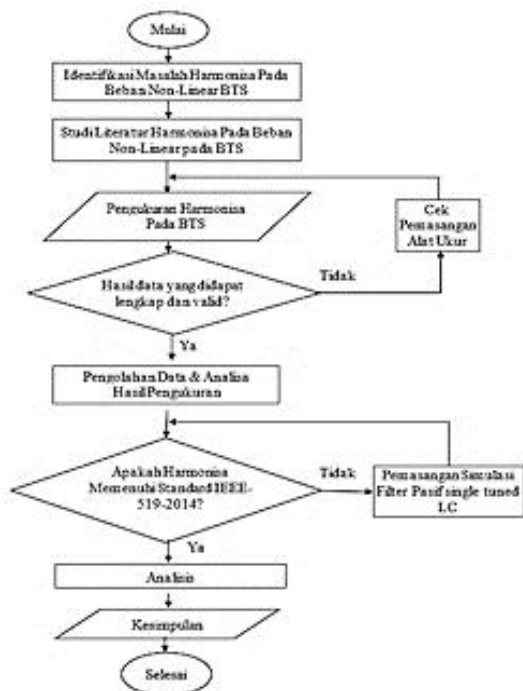
seperti kapasitor (C) dan induktor (L). Cara kerja filter ini adalah dengan mengalirkan arus harmonisa pada tingkat yang ditentukan dari sumber harmonisa, seperti beban nonlinier, melalui rangkaian filter. Agar mencapai arus yang mengalir pada tingkat tertentu, kapasitor harus diatur sedemikian rupa sehingga terjadi resonansi pada rangkaian, mengakibatkan penurunan impedansi pada saluran sehingga hanya menyisakan komponen resistansi saja. Filter pasif tidak hanya berfungsi untuk mereduksi harmonisa, namun juga bisa membantu meningkatkan faktor daya dalam sistem^[10,15].

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan tujuan untuk mengumpulkan data dalam bentuk numerik dan statistik.

Menurut Creswell, penelitian kuantitatif adalah suatu bentuk penelitian yang melibatkan langkah-langkah seperti memilih topik penelitian, merumuskan pertanyaan spesifik, mempersempit pertanyaan, mengumpulkan data, dan menganalisis angka dengan menggunakan daftar pendekatan sistematis.^[16]

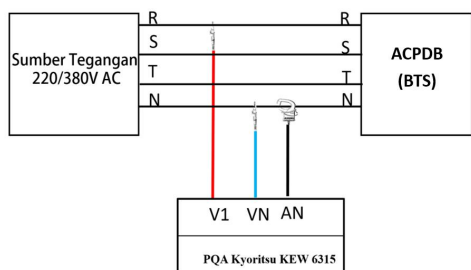
Berdasarkan asumsi-asumsi yang telah ditentukan dan tujuan penelitian yang diinginkan, maka tahapan penelitian yang dilaksanakan disusun dalam beberapa tahapan sebagaimana diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7 Diagram alur pada penelitian

Gambar 7 memperlihatkan proses penelitian dari awal sampai akhir yang didalamnya terdapat beberapa proses yaitu identifikasi harmonisa, pengukuran, pengolahan data sampai pada kesimpulan.

Untuk mengetahui nilai harmonisa pada BTS, digunakan alat ukur PQA (*Power Quality Analyzer*) Kyoritsu KEW 6315^[17] dengan rangkaian pengukuran sebagaimana diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8 Rangkaian pengukuran berdasarkan *Quick Manual* Kyoritsu KEW 6315.

Keterangan:

R, S dan T = fasa R, fasa S dan fasa T
N = netral

ACPBD = beban (BTS)

V1 = *clamp* tegangan pada fasa R

V2 = *clamp* pengantar netral

AN = *clamp* arus pada netral

Gambar 8 menunjukkan rangkaian pengukuran pada BTS yaitu V1, VN merupakan *clamp* yang terhubung pada fasa R dan penghantar netral N. Titik sambung AN merupakan *clamp* arus yang terpasang pada penghantar netral.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengukuran

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran parameter listrik yaitu tegangan, arus, daya, faktor daya dan frekuensi.

Tabel 1 Parameter hasil pengukuran

Besaran Listrik	Hasil Pengukuran
Tegangan (V)	234,2
Arus (A)	1,1
P (W)	76,12
Q (VAR)	252,8
S (VA)	264,1
Power Factor (PF)	0,29
Frekuensi, f (Hz)	50

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

Tabel 2 Data THDv hasil pengukuran

Orde n	Tegangan (V)	THDv (%)
1	234,2	100
2	0,08	0,04
3	1,58	0,68
4	0,00	0,00
5	2,99	1,29
6	0,00	0,00
7	1,26	0,54
8	0,00	0,00
9	0,09	0,04
10	0,00	0,00
11	1,71	0,31
12	0,00	0,00
13	0,18	0,08
14	0,00	0,00
15	0,00	0,00

Nilai THDv berdasarkan data tabel 2, dihitung dengan menggunakan persamaan (3) yang menghasilkan THDv sebesar 1,59%.

Tabel 3 memperlihatkan data untuk nilai harmonisa arus dari orde ke-1 sampai orde ke-15.

Tabel 3 Data THDi hasil pengukuran

Orde n	Arus (A)	THDi (%)
1	0,45	100
2	0,03	5,73
3	0,98	219,02
4	0,00	1,10
5	0,06	13,69
6	0,01	1,56
7	0,02	4,59
8	0,00	0,99
9	0,21	47,56
10	0,00	0,93
11	0,01	3,03
12	0,00	0,95
13	0,01	3,23
14	0,00	0,96
15	0,03	6,44

Nilai THDv berdasarkan data tabel 3, dihitung dengan menggunakan persamaan (4) yang menghasilkan THDi sebesar 224,7% dan data tabel 3 memperlihatkan harmonisa arus yang dominan yaitu pada orde 3 dengan THDi 219,02%, orde 5 dengan THDi 13,69%, orde 7 dengan THDi 4,59%, orde 9 dengan THDi 47,56% dan orde 15 dengan THDi 6,44%.

4.2 Hasil Pengolahan Data

4.2.1 Penentuan Batas Maksimum THD

Standar IEEE 519-2014 digunakan sebagai acuan untuk menentukan apakah harmonisa tegangan memenuhi standar atau belum. Untuk tegangan *line*, $V \leq 1\text{kV}$, pada PCC sesuai gambar 5, maka batas maksimum harmonisa tegangan setiap orde adalah 5%, sedangkan batas maksimum untuk THDv adalah 8%^[4].

Tabel 4.4 menyatakan apakah harmonisa tegangan sudah atau belum

memenuhi standar.

Tabel 4 Data THDv sesuai standar IEEE 519-2014

Orde n	Tegangan (V)	THDv orde ke-n (%)	Standar IEEE 519-2014 (batas 5%)
1	234,2	100	-
2	0,08	0,04	Memenuhi Standar
3	1,58	0,68	Memenuhi Standar
4	0,00	0,00	Memenuhi Standar
5	2,99	1,29	Memenuhi Standar
6	0,00	0,00	Memenuhi Standar
7	1,26	0,54	Memenuhi Standar
8	0,00	0,00	Memenuhi Standar
9	0,09	0,04	Memenuhi Standar
10	0,00	0,00	Memenuhi Standar
11	1,71	0,31	Memenuhi Standar
12	0,00	0,00	Memenuhi Standar
13	0,18	0,08	Memenuhi Standar
14	0,00	0,00	Memenuhi Standar
15	0,00	0,00	Memenuhi Standar

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran harmonisa tegangan dari orde ke-1 sampai orde ke-15 dan THDv sebesar 1,59% masih memenuhi standar.

Untuk menentukan batasan harmonisa arus, terlebih dahulu menentukan nilai rasio I_{sc}/I_L sesuai dengan persamaan (5) dan (6).

Nilai rasio I_{sc}/I_L ditentukan berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011), yaitu 1,45^[18]. Berdasarkan standar IEEE 519-2014, untuk nilai rasio I_{sc}/I_L kurang dari 20, batas maksimum THDi adalah 5,0% dan nilai maksimum harmonisa individu untuk orde harmonisa: $3 \leq \text{orde harmonisa } (h) \ll 11$, adalah 4,0%^[4].

Tabel 4 menyatakan apakah harmonisa arus sudah atau belum memenuhi standar.

Tabel 5 Data THDi sesuai standar IEEE 195-2014

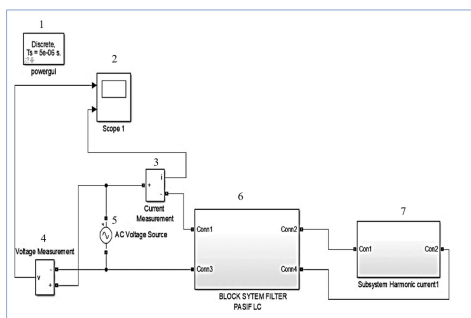
Orde ke-n	Arus (A)	THDi (%)	Standar IEEE 519-2014 (batas 4%)
1	0,45	100	-
2	0,03	5,73	Belum memenuhi standar
3	0,98	219,02	Belum memenuhi Standar
4	0,00	1,10	Memenuhi Standar

Orde ke-n	Arus (A)	THDi (%)	Standar IEEE 519-2014 (batas 4%)
5	0,06	13,69	Belum memenuhi Standar
6	0,01	1,56	Memenuhi Standar
7	0,02	4,59	Belum memenuhi Standar
8	0,00	0,99	Memenuhi Standar
9	0,21	47,56	Belum memenuhi Standar
10	0,00	0,93	Memenuhi Standar
11	0,01	3,03	memenuhi Standar
12	0,00	0,95	Memenuhi Standar
13	0,01	3,23	Belum memenuhi Standar
14	0,00	0,96	Memenuhi Standar
15	0,03	6,44	Belum memenuhi Standar

Tabel 5 memperlihatkan bahwa, harmonisa arus belum semuanya memenuhi standar yaitu, pada orde ke-2 sebesar 5,73%, orde ke-3 sebesar 219,02%, orde ke-5 sebesar 13,69%, orde ke-9 sebesar 47,56%, orde ke-13 sebesar 3,23%, orde ke-15 sebesar 6,44%. Nilai THDi sebesar 224,7% belum memenuhi standar.

4.2.2 Perancangan Filter Pasif pada MATLAB

Simulasi pemasangan filter pasif yaitu filter pasif *single-tuned* LC dengan menggunakan *software* matlab/simulink dilakukan untuk pemasangan filter pasif *single-tuned* LC terhadap harmonisa arus yang belum memenuhi standar.



Gambar 9 Rangkaian Simulasi MATLAB dengan filter pasif single-tuned LC

Keterangan:

- 1 = *power gui*
- 2 = *scope*
- 3 = *current measurement*
- 4 = *voltage measurement*

- 5 = *AC Voltage Source*
- 6 = *Block Sytem filter pasif single tuned LC*
- 7 = *Subsystem Harmonic Current*

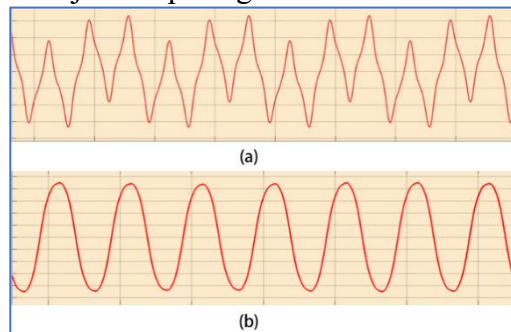
Gambar 9 memperlihatkan rangkaian filter pasif *single-tuned* LC dengan sumber arus harmonisa dan nilai komponen filternya sesuai dengan tabel 6.

Tabel 6 Nilai kapasitor dan induktor pada filter

Orde n	L (Henry)	C (Farad)
3	0.085	$13,12 \times 10^{-6}$
5	0.030	$13,12 \times 10^{-6}$
7	0.015	$13,12 \times 10^{-6}$
9	0.009	$13,12 \times 10^{-6}$
11	0.006	$13,12 \times 10^{-6}$
13	0.004	$13,12 \times 10^{-6}$
15	0.003	$13,12 \times 10^{-6}$

Tabel 6 menunjukkan nilai kapasitor dan induktor yang dijadikan parameter komponen untuk filter pasif *single tuned* LC pada Matlab.

Berdasarkan simulasi filter pasif *single tuned* LC dengan *software* matlab/simulink, didapatkan hasil perbedaan sebelum dan setelah menggunakan filter seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10 a) sebelum b) setelah menggunakan filter pasif *single-tuned* LC

Gambar 10 (a) menunjukkan bentuk gelombang arus yang mengalami distorsi, sehingga bentuk gelombangnya tidak sinusoidal. Gambar 10 (b)

memperlihatkan gelombang arusnya telah mendekati bentuk sinusoidal akibat pemasangan filter pasif, namun harmonisanya masih tinggi.

Tabel 7 menyatakan apakah harmonisa arus sudah atau belum memenuhi standar setelah menggunakan filter pasif. Tabel 7 memperlihatkan hasil bahwa harmonisa arus orde ke-3 sebesar 6,90% belum memenuhi standar akan tetapi THDi mengalami penurunan menjadi 7,06%.

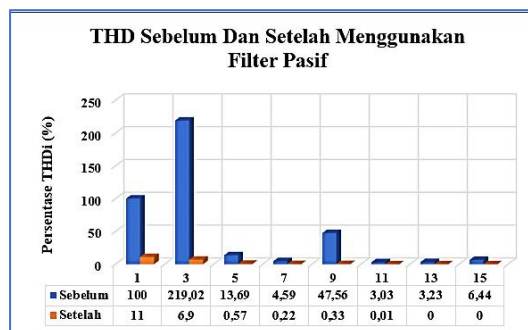
Tabel 7 Data THDi setelah menggunakan filter dan sesuai standar

Orde n	THDi (%)	IEEE 519-2014	Keterangan
1	100	-	-
3	6,90	4	Belum memenuhi standar
5	0,57	4	Memenuhi standar
7	0,22	4	Memenuhi standar
9	0,33	4	Memenuhi standar
11	0,01	2	Memenuhi standar
13	0,00	2	Memenuhi standar
15	0,00	2	Memenuhi standar

4.3 Analisis terhadap hasil pengolahan data

Analisis terhadap hasil pengolahan data dilakukan untuk membandingkan hasil sebelum dan sesudah penerapan filter pasif *single-tuned* LC, seperti seperti diperlihatkan pada gambar 11. Perbandingan sebelum dan sesudah akan memberikan informasi tentang dampak filter pada parameter kelistrikan.

Gambar 11 Perbandingan THDi sebelum dan setelah menggunakan filter pasif *single tuned* LC



Gambar 11 menunjukkan perbandingan THDi sebelum dan setelah menggunakan filter pasif *single-tuned* LC. Setelah penerapan filter pasif *single tuned* LC, diperoleh THDi semakin turun, kecuali harmonisa arus orde ke-3 masih cukup tinggi yakni sebesar 7,06% dan tidak memenuhi standar.

Namun, penurunan THDi sebesar $(224,72 - 7,06) \% = 217,66\%$ setelah difilter dan THDi untuk orde ke-3 sebesar 6,90% belum memenuhi standar.

Nilai THDi yang masih tinggi diakibatkan pemakaian beban nonlinier pada BTS seperti *Antena Microwave*, *Antena Sectoral*, *Shelter* dan juga *rectifier*.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengukuran harmonisa arus dan tegangan pada BTS, serta analisis perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif untuk mengurangi harmonisa, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Arus yang mengalir pada kawat netral pada BTS sebesar 1,1 ampere dengan tingkat THDi sebesar 224,72% yang tidak memenuhi standar.
2. Arus harmonisa dominan yang mengalir pada kawat netral adalah orde-3 dengan THDi 219,02% dan orde ke-9 dengan THDi 47,56%, yang melebihi batas standar. THDv keseluruhan sebesar 1,59% masih dibawah standar.

3. Filter pasif *single tuned LC* mampu mereduksi tingkat THDi arus sebesar 217,66% berdasarkan hasil simulasi Matlab/Simulink. Sebelum filter, nilai THDi sebesar 224,72%, dan setelah difilter, THDi turun menjadi 7,06%, yang masih diatas standar.

5.2 Saran

Disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap filter BTS dengan menggunakan filter hibrid karena terdiri dari kombinasi filter pasif dan aktif sehingga tingkat harmonisnya dapat memenuhi standar khususnya pada orde ke 3 dan orde ke 9.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia.go.id (2023) - Peta Jalan Mempercepat Transformasi Digital. <https://www.indonesia.go.id/kategori/editorial/2951/peta-jalan-mempercepat-transformasi-digital>.
- [2] Emasriani, F., & Rahmadewi, R. (2021). Analisa Efektifitas Peningkatan Perangkat BTS Telkomsel Karawang dengan software iManager u2000. *SIRKUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5 (2), 148-15
- [3] 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)
- [4] 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.
- [5] Priyono, T. O. (2023). *Analisa Beban Non Linier Terhadap Nilai THDi Dan THDv Di Gedung Equity Tower*. *Jurnal Elektro Vol 11 No 1 Februari 2023*, 11(1), 1-17
- [6] Al, M., Atmam, A., & Zondra, E. (2021). Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif pada Variable Speed Drive (VSD) dengan Beban Motor Electrical Submersible Pump (ESP) di PT. Chevron Pasific Indonesia (CPI). *Jurnal Teknik*, 15(1), 9-17.
- [7] Milani, KR, Adham, B., Banaei, MR, & Kazemi, FM (2017). Pengukuran dan analisis parameter kualitas daya stasiun base transceiver dan penilaian dampak buruknya terhadap sistem distribusi Iran. *Jurnal Prosiding Akses Terbuka CIRED*, 2017 (1), 761-765
- [8] Xue, D., & Chen, Y. (2013). Teknik simulasi sistem dengan MATLAB dan Simulink John Wiley & Putra.
- [9] William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly., Pantur Silaban (1996) "Rangkaian Listrik Jilid 1", Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Ciracas, Jakarta 13740.
- [10] Dugan, C. Roger. 2004. *Electrical Power Sytem Qualty*. New York. McGraw-Hill
- [11] Francisco, C. D. L. R. (2006) *Harmonics and power systems*. Pers CRC
- [12] Wakileh, George J (2001) *Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*. Verlag Berlin Heidelberg New York
- [13] 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/jterav4.i1.2019.99-108

- [14] Hendi Dwi Saputra. (2019). *Analisa Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Di Gedung BPTIK UNNES Dan E11, Universitas Negeri Semarang.*
- [15] Chen, W. K. (Ed). (2002). *The circuits and handbook.* CRC Press.
- [16] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Edisi Ketiga)*". Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [17] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. (2014). *Instruction Manual Power Quality Analyzer KEW 6315.*
- [18] Persyaratan Umum Instalasi Listrik. 2011. (PUIL 2011). Pp. 161