

REDUKSI HARMONIK PADA INVERTER FASA TIGA DENGAN FILTER PASIF

Juhana¹, Ojak Abdul Rozak²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Jl. Raya Puspatek, Buaran, Pamulang, Kota Tangerang Selatan, 15310 Banten, Indonesia

¹dosen00187@unpam.ac.id

²dosen01314@unpam.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 17-05-2022
revisi : 28-05-2022
diterima : 28-06-2022
dipublish : 30-06-2022

ABSTRAK

Inverter adalah salah satu metode pengaturan motor Induksi dengan mengubah frekuensi yang memungkinkan pengaturan yang lebar, tetapi akibat dari proses pengkonversian dalam bentuk gelombang energi listrik dari satu bentuk ke bentuk gelombang lain merupakan beban *non-linier* bentuk gelombangnya tidak lagi sinusoidal dan terdistorsi (cacat) disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran watak harmonik pada inverter dalam kondisi tak berbeban dan berbeban motor induksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui watak harmonik arus, penelitian dilanjutkan dengan desain filter pasif dengan harapan dapat mereduksi watak harmonik. Hasil pengukuran watak harmonik arus dan THDi pada inverter tanpa beban dan dengan beban motor pada fasa R, S dan T setelah dipasang filter adalah watak harmonik arus dapat diminimalisasi. Pada kondisi inverter tanpa beban THDi dapat direduksi rata-rata pada fasa R = 78,4%, fasa S = -73,4% dan pada fasa T = 88,7%. Sedangkan kondisi inverter dengan beban motor THDi dapat direduksi rata-rata pada fasa R = 87,3%, fasa S = 83,7% dan pada fasa T = 89,0%.

Kata kunci: inverter; motor induksi; harmonik; filter pasif

ABSTRACT

Reduction of Harmonic in three-Phase-Inverter with Passive-Filter. Inverter is one method of induction motors settings by changing the frequency that allows setting the width, but the result of the conversion process in the form of waves of electrical energy from one form to another wave of a non-linear load is no longer sinusoidal waveform and distorted (deformed) called the Total Harmonic Distortion (THD). In this study, experimental measurements have been made on the nature of the inverter harmonics on the conditions and the burden unburdened Induction Motors. The purpose of this study was to determine the nature of the current harmonics, the study followed by a passive filter design in hopes of reducing the harmonic character. The results of measurements of currents and harmonic character THDi the inverter without load and motor load on phase R, S and T after the filter character of harmonic currents can be muted. Inverter no-load condition THDi value can be reduced on average in phase R = 78.4% at phase S = 73.4% and the T phase and 88.7%. While the Inverter with the motor load conditions THDi value can be reduced on average in phase R = 87.3% at phase S = 83.7% and 89.0% in the T phase.

Keywords: inverter; induction motor; harmonics; passive filter

PENDAHULUAN

Inverter sebagai salah satu metode kendali motor induksi dengan mengubah frekuensi dalam jangkauan kecepatan yang lebih lebar. *Inverter* mengubah listrik DC jadi AC, menyesuaikan kecepatan mesin fasa tiga. Sirkuit elektronik memastikan bahwa fitur pada mesin dihubungkan dan dapat digunakan secara optimal pada setiap kisaran kecepatan. Tetapi pada penggunaan peralatan-peralatan seperti inverter, printer, scanner, dan konverter merupakan beban *non-linier* yang mengakibatkan tegangan dan arusnya terdistorsi (cacat). Harmonisa arus (THD, *total harmonic distortion*) yang tinggi dalam sistem tenaga distorsi harmonik disebabkan oleh adanya beban *non-linier*.

Pada penelitian ini pengaturan motor induksi menggunakan inverter. Pengukuran harmonik tegangan dan arus pada inverter

menggunakan *power quality analyzer* merk Fluke 434, pengukuran pada kondisi inverter tanpa dan dengan beban motor Induksi. Untuk mereduksi kandungan harmonik pada inverter tersebut, didesain sebuah filter pasif *low fast filter*.

Melalui metode pengaturan motor induksi dari kecepatan konstan menjadi kecepatan variabel menggunakan inverter fasa tiga. Menentukan besarnya kandungan harmonik tegangan dan harmonik arus yang terdistorsi pada inverter pada kondisi tak berbeban dan berbeban motor induksi berdasarkan hasil pengukuran. Analisa hasil pengukuran watak harmonik pada inverter dari setiap fasa dan membandingkannya dengan persyaratan standar IEEE.519-1992 Untuk dapat meminimisasi watak harmonik pada inverter dilakukan desain komponen

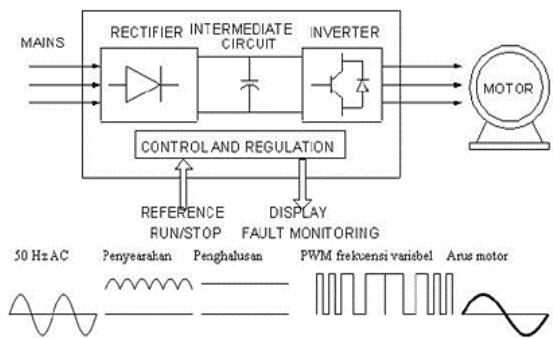
filter pasif jenis *low fast filter* yang terdiri dari komponen resistor (R) dan kapasitor (C).

TEORI

Inverter

Inverter mengkonversi sumber daya tiga fasa AC ke DC selanjutnya dikonversi kembali menjadi sumber daya tiga fasa AC dengan frekuensi yang sesuai, hal ini karena kecepatan sinkron motor induksi berbanding lurus dengan frekuensi sumber dayanya (Evalina et al., 2018).

Sumber daya dari PLN disearahkan dengan *rectifier*. Selanjutnya ditapis dengan filter DC untuk mendapatkan sumber daya DC yang lebih rata. Melalui rangkaian *switch* (jembatan inverter) yang dikendalikan dan diubah kembali menjadi sumber daya tiga fasa pada ujung beban. kontrol waktu switch menggunakan sinyal (PWM) *pulse width modulation* (Aliyan et al., 2014).

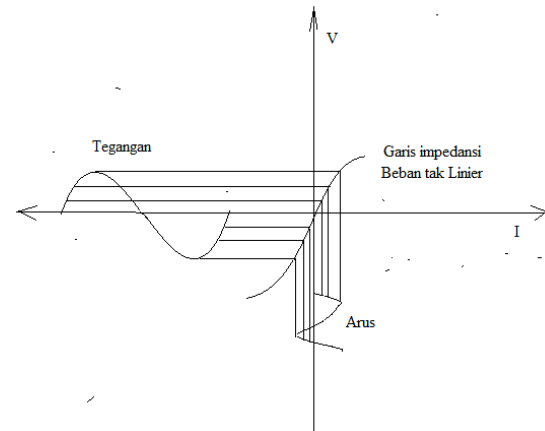


Gambar 1. Inverter fasa tiga.

PWM tersebut akan mencacah listrik DC menjadi AC dengan bentuk gelombang mendekati sinus. Khusus untuk motor listrik, gelombang AC *non sinusoidal* tersebut dapat mempengaruhi kualitas daya dan berefek panas sehingga menyebabkan peralatan cepat rusak (Septarangga, 2019).

Selain itu inverter menimbulkan efek gelombang arus dan tegangan terdistorsi

(cacat) atau (THD) *total harmonic distortion* (Suryadi, 2016).



Gambar 2. Gelombang arus pada beban *non-linier*.

Beban linier merupakan suatu beban yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal, sedangkan beban *non-linier* memiliki bentuk gelombang *non-sinusoidal* karena telah terdistorsi arus harmonik akibat peralatan elektronik (Juhana, 2018). Beban *non-linier* mempunyai bentuk gelombang keluaran tak sebanding dengan gelombang masukan. Beban *non-linier* dapat berupa aplikasi elektronika daya seperti inverter, *battery chargers*, *electronic ballast*, *variable frequency*, *electric arc furnace*, *thyristor AC power controllers*, *thyristor-controlled reactor (TCR)*, *silicon controlled rectifier (SCR)*, *adjustable speeddrive (ASD)*, dll, sebagai penyumbang harmonik (Mutiar, 2013).

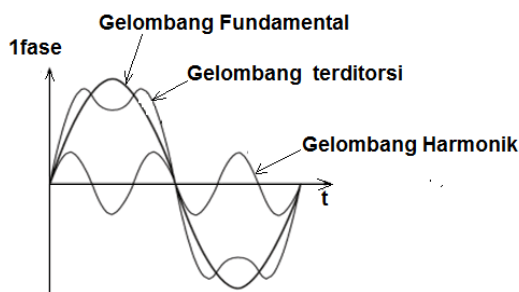
Distorsi Harmonik

Distorsi harmonik merupakan salah satu fenomena penyimpangan dari bentuk gelombang sinusoidal, bentuk gelombang terdistorsi (cacat) sehingga gelombang tidak murni (Dermawan & Rahman, 2018).

Harmonik adalah gejala pembentukan gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat

dari frekuensi dasarnya (100 Hz, 150Hz, 200 Hz dan seterusnya). Harmonik dalam sistem tenaga listrik merupakan suatu komponen sinusoidal dari periode gelombang yang mempunyai satu frekuensi yang merupakan kelipatan bulat gelombang fundamentalnya (Fauzan et al., 2015).

Jika f_0 frekuensi fundamental, maka $n \times f_0$ adalah frekuensi harmonik orde ke- n . Gelombang terdistorsi terdiri dari beberapa harmonik, yang pertama sebagai frekuensi dasar, harmonik kelipatan ganjil (harmonik ganjil), harmonik kelipatan genap (harmonik genap) (Amir & Firdaus, 2017).



Gambar 3. Bentuk gelombang fundamental, gel. harmonik dan fundamental terdistorsi (Amalia & Nazir, 2015).

THD menyatakan besarnya distorsi yang diakibatkan oleh semua komponen harmonik, didefinisikan (Octaviani, 2015).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} M_n^2}}{M_1} \times 100 \% \quad (1)$$

THD = Total Harmonic Distortion

M_n = rms arus/tegangan harmonik ke- n

M_1 = rms arus/tegangan pada frek. dasar

THD dapat dinyatakan sebagai suatu nilai potensi pemanasan akibat harmonik relatif terhadap gelombang frekuensi dasar. Tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD namun dapat salah interpretasi. Aliran arus kecil dapat memiliki THD tinggi namun tidak merusak sistem. Untuk melihat THD

arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada (PCC) *point of common coupling* (bukan sampel sesaat) yaitu dengan *total demand distortion* (TDD) dan berdasarkan standar IEEE 519–1992, TDD didefinisikan (Samman et al., 2015).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{h.maks} I_n^2}}{I_L} \quad (2)$$

I_n = arus harmonik orde ke- n

I_L = arus beban puncak

Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama pada beban yang telah terpasang pada sistem lalu dihitung nilai rata-rata dari arus beban maksimum selama 12 bulan pengukuran. Sedangkan untuk sistem yang baru I_L harus diperkirakan berdasarkan profil beban terpasang (Lestari, 2021).

Nilai RMS yang dihasilkan gelombang arus/tegangan yang terdistorsi harmonik didefinisikan (Sukarman & Almada, 2015).

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h.maks} M_h^2}$$

$$rms = M_1 \times \sqrt{1 + THD^2} \quad (3)$$

M_h = nilai arus atau tegangan ke- h

Batas distorsi tegangan dan arus mengacu standar *institute of electrical and electronic* (IEEE) 519–1992 (Rozak, 2019).

Tabel 1. Batas distorsi tegangan IEEE 519-1992

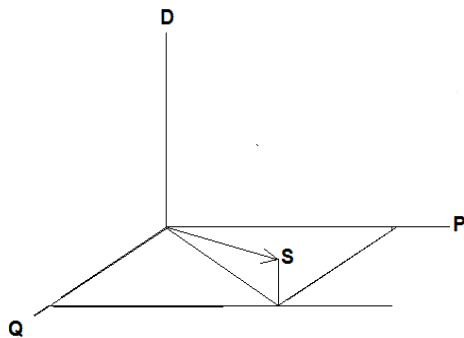
Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69kV and below	3.0	5.0
69.001kV thought 161 kV	1.5	2.5
161.001kV and above	1.0	1.5

Tabel 2. Batas distorsi arus IEEE 519-1992

I_{SC}/I_L	< 11	11 < h < 17	17 < h < 23	23 < h < 35	35 < h	TDD
< 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 < 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Daya Listrik

Daya listrik dikirim ke beban sebagai daya kompleks (S), seperti daya aktif (P) adalah daya yang diserap oleh beban untuk melakukan usaha sebenarnya, daya reaktif (Q) sebagai daya yang tidak sebagai kerja nyata dipengaruhi komponen reaktif seperti induktor. Vektor antara daya-daya pada kondisi *non-sinusoidal*.

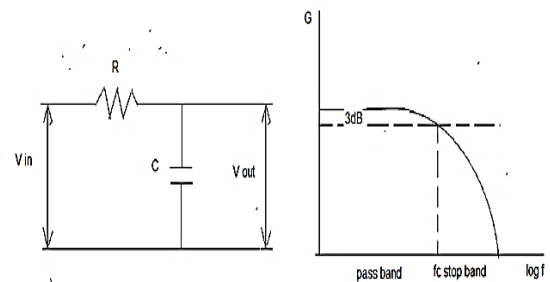


Gambar 4. Hubungan komponen daya pada kondisi *non-sinusoidal*.

P dan Q mewakili daya S yang biasa terdapat pada kondisi sinusoidal murni, sedangkan D menunjukkan suatu kontribusi tambahan terhadap daya kompleks akibat harmonik (Purnomo, 2017).

Low Pass Filter (LPF)

Low pass filter hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c), diatas frekuensi tersebut *output* mengecil (idealnya tidak ada) (Binus, 2014).



Gambar 5. *Low pass filter* pasif dan tanggapannya.

METODOLOGI

Desain Rangkaian Percobaan

Tabel 4. Bahan yang digunakan.

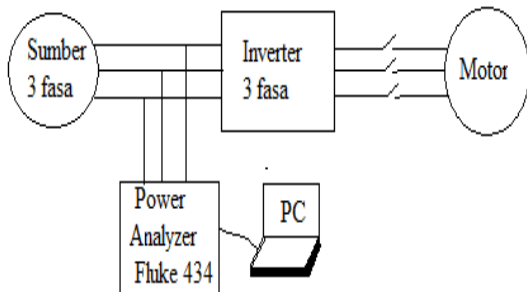
Nama Bahan	Jumlah	Fungsi
Motor Induksi 3P Y/Δ 400/300 V In: 0.77/1.34 A Pn: 0.25 kW PF: 0.73 RPM: 1380 F: 50 Hz	1	Beban
<i>Magnetic Power Brake</i>	1	Beban
Inverter <i>Input</i> : 3P 380/500 V 6.5/5.7 A 50/60 Hz <i>Output</i> : 3P 380/500V 4.1/3.1 kVA	1	Kendali kecepatan motor induksi
Resistor: 4.7 Ω 20 W	1	Komponen Filter Pasif
Resistor: 3.3 Ω 20 W	1	Komponen Filter Pasif
Kapasitor 45 μF ±10%, 370 VAC 50/60 Hz	1	Komponen Filter Pasif
Kapasitor 45 μF ±10%, 400 VAC 50/60 Hz	1	Komponen Filter Pasif
Kapasitor 25 μF ±10%, 370 VAC 50/60 Hz	1	Komponen Filter Pasif
Kapasitor 15 μF ±10%, 400 VAC 50/60 Hz	1	Komponen Filter Pasif

Tabel 3. Alat yang digunakan.

Nama Alat	Jml	Fungsi
Ampere Meter	1	Mengukur tegangan
Volt Meter	1	Mengukur arus
Watt Meter	1	Mengukur daya
Cos Phi Meter	1	Mengukur faktor daya
Power Quality Analyzer Fluke 434	1	Mengukur watak harmonik
Laptop/PC	1	Pengambilan data hasil pengukuran watak harmonik

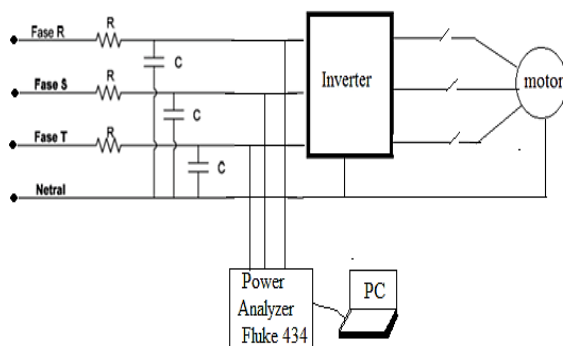
Rangkaian Pengukuran

Pengukuran harmonik tegangan dan arus inverter tanpa filter.



Gambar 6. Rangkaian percobaan pengukuran watak harmonik pada inverter tanpa beban tanpa filter.

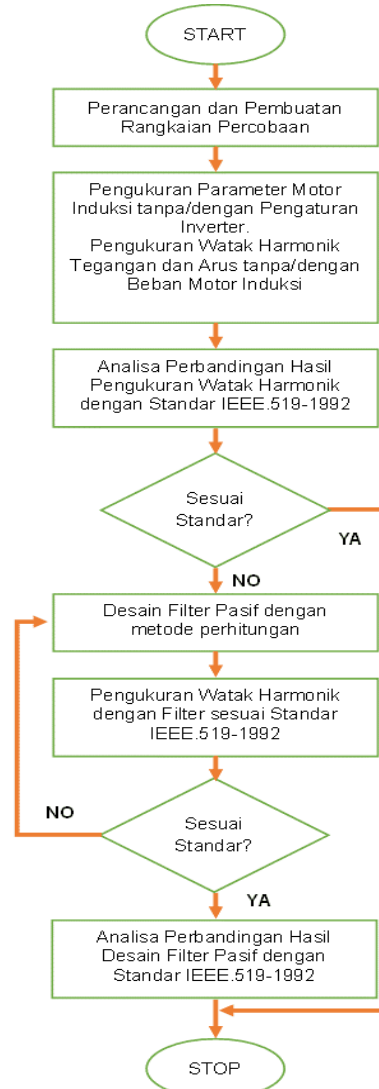
Pengukuran watak harmonik tegangan dan arus tanpa beban dengan filter:



Gambar 7. Rangkaian pengukuran watak harmonik kondisi inverter tanpa beban setelah dipasang filter.

Tahapan Penelitian

Berikut ini merupakan alur proses dari tahapan penelitian.



Gambar 8. Alur proses penelitian.

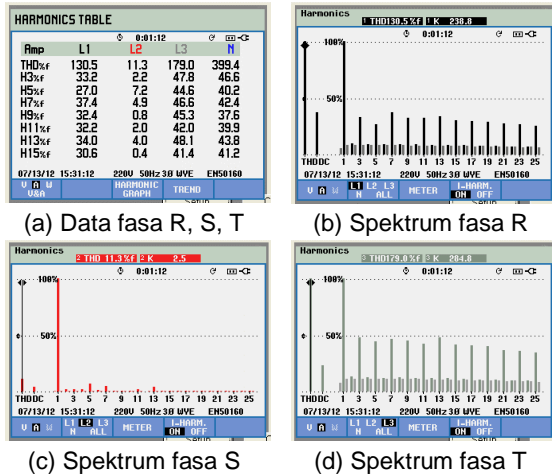
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tempat penelitian di Laboratorium Metrologi Kelistrikan Puslit Kim Lipi, Puspipstek Serpong Tangerang Selatan.



Gambar 9. Percobaan magnetic power brake.

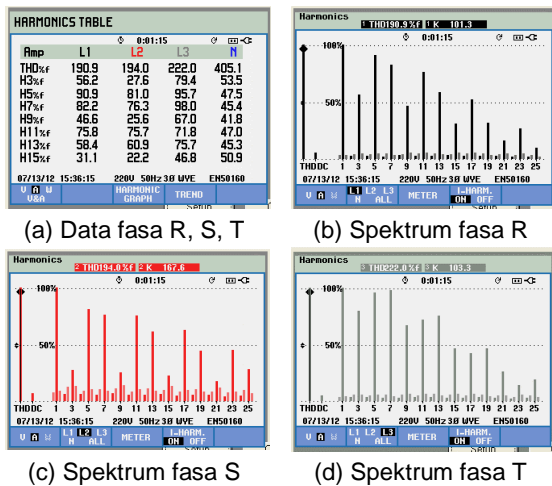
Harmonik Arus Tanpa Beban



Gambar 10. Harmonik arus tanpa beban dan tanpa filter.

Besarnya watak Harmonik individual maksimum fasa R = 37.4 % yaitu orde ke-7 THDi = 130.5 %, fasa S = 7.2% THDi = 11.3 % dan fasa T = 46.6 % THDi = 179.0 %. Harmonik arus di atas Standar IEEE.

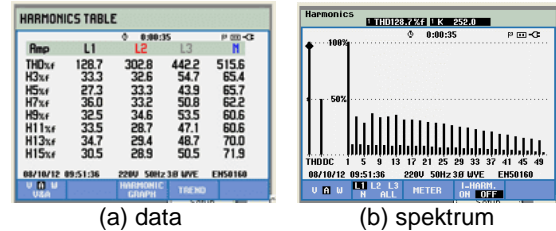
Harmonik Arus Dengan Beban



Gambar 11. Harmonik arus dengan beban tanpa filter.

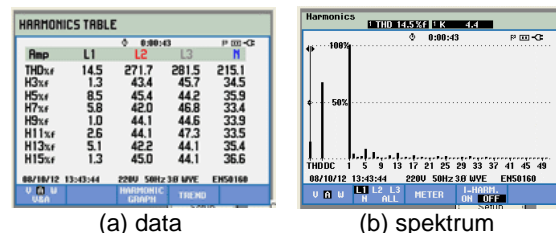
Besarnya watak Harmonik individual maksimum fasa R = 90.9 % yaitu orde ke-5 THDi = 190.9 %, fasa S = 81.0 %, THDi = 194.0 % dan fasa T = 98.0%, THDi = 222.0 %. Harmonik arus di atas Standar IEEE.

Harmonik Arus Tanpa Beban dan Tanpa Filter



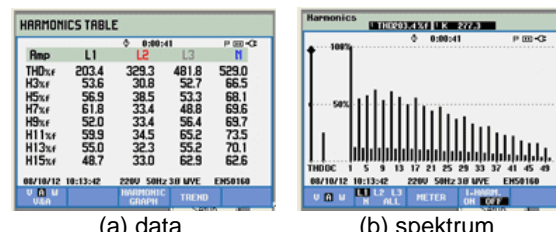
Gambar 12. Harmonik arus fasa R

Harmonik arus individual maksimum: 36.0 % yaitu orde ke-7, nilai THDi 128.7 %. Hasil percobaan menunjukkan watak harmonik dan THDi fasa R cukup besar.



Gambar 13. Harmonik arus fasa S

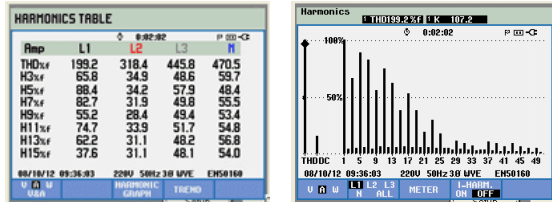
Harmonik arus Individual maksimum: 8,5% yaitu orde ke-5, nilai THDi 14,5%. Watak harmonik arus pada fasa S relatif kecil bila dibandingkan watak harmonik fasa R dan T dalam hal ini beban tidak seimbang.



Gambar 14. Harmonik arus fasa T

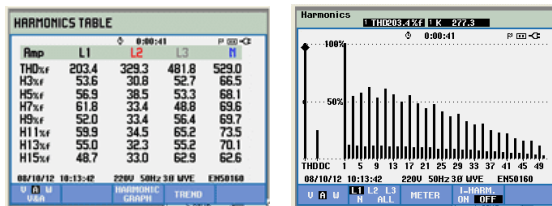
Harmonik arus individual maksimum 61.8 % yaitu orde ke-7, nilai THDi 203.4 %. Hasil percobaan menunjukkan watak harmonik dan THDi fasa T cukup besar.

Harmonik Arus Dengan Beban dan Tanpa Filter



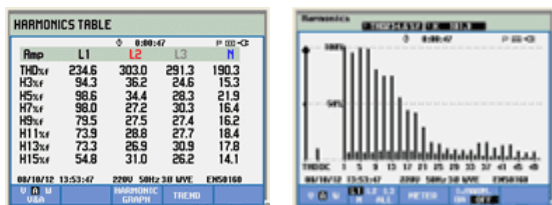
(a) data
 (b) spektrum
Gambar 15. Harmonik arus fasa R

Harmonik arus individual maksimum 88.4 % yaitu orde ke-3, nilai THDi 199.2 %. Hasil pengukuran menunjukkan pada fasa R kandungan harmonik dan THDi cukup besar.



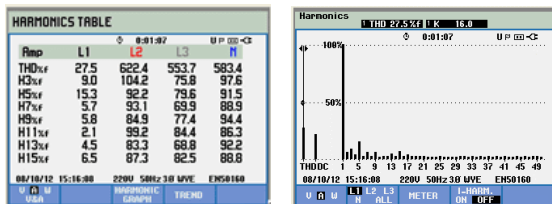
(a) data
 (b) spektrum
Gambar 16. Harmonik arus fasa S

Harmonik arus individual maksimum: 61.8 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 203.4 %. Hasil pengukuran menunjukkan pada fasa S kandungan harmonik dan THDi cukup besar.



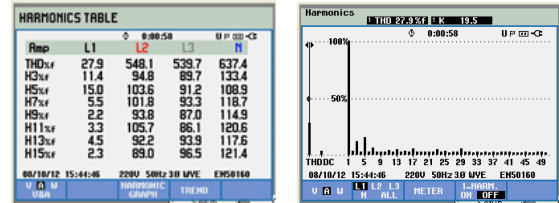
(a) data
 (b) spektrum
Gambar 17. Harmonik arus fasa T

Harmonik Arus Tanpa Beban Menggunakan Filter



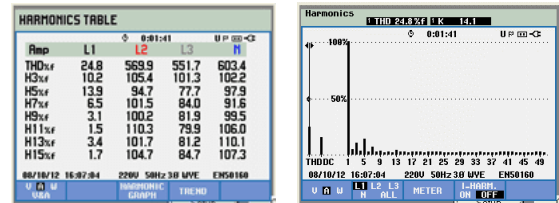
(a) data
 (b) spektrum
Gambar 18. Harmonik arus fasa R

Harmonik arus individual maksimum: 15.3 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 27.5 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik individual dan THDi fasa R setelah di filter terjadi penurunan.



(a) data
 (b) spektrum
Gambar 19. Harmonik arus fasa S

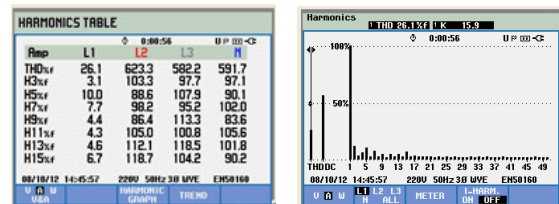
Harmonik arus individual maksimum: 15.0 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 27.9 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik individual dan THDi fasa S setelah di filter terjadi penurunan.



(a) data
 (b) spektrum
Gambar 20. Harmonik arus fasa T

Harmonik arus individual maksimum: 13.9 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 24.8 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik individual dan THDi fasa T setelah di filter terjadi penurunan.

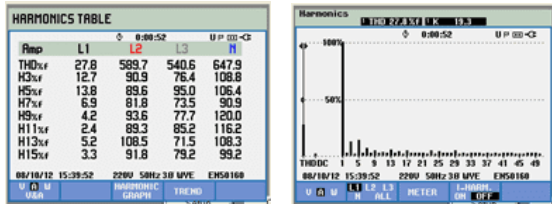
Harmonik Arus Menggunakan Beban dan Filter



(a) data
 (b) spektrum
Gambar 21. Harmonik arus fasa R

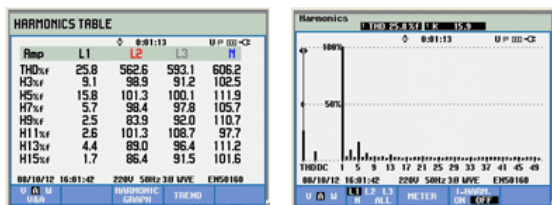
Harmonik arus individual maksimum: 10.0 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 26.1 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik

individual dan THDi fasa R setelah di filter terjadi penurunan.



(a) data (b) spektrum
Gambar 22. Harmonik arus fasa S

Harmonik arus individual maksimum: 13.8 % yaitu orde ke-5, nilai THDi: 27.8 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik individual dan THDi fasa S setelah di filter terjadi penurunan.



(a) data (b) spektrum
Gambar 23. Harmonik arus fasa T

Harmonik arus individual maksimum: 15.8 % yaitu orde ke-5, nilai THDi 25.8 %. Hasil pengukuran menunjukkan harmonik individual dan THDi fasa T setelah di filter terjadi penurunan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji karakteristik inverter didapatkan bahwa watak harmonik arus dan THDi pada inverter tanpa beban dan dengan beban motor, pada fasa R, S dan T. Setelah dipasang filter watak harmonik arus dapat diminimalisasi. Pada kondisi inverter tanpa beban THDi dapat direduksi rata-rata pada fasa R = 78,4%, fasa S = 73,4% dan pada fasa T = 88,7%. Sedangkan kondisi inverter dengan beban motor THDi dapat direduksi rata-rata pada fasa R = 87,3%, fasa S = 83,7% dan pada fasa T = 89,0%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliyan, L. R., Hasanah, R. N., & Muslim, M. A. (2014). Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM. *EECCIS*, 8(1), 79–84.
- 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
- Amir, M., & Firdaus, A. I. (2017). Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Akibat Penggunaan Variable Speed Drive pada Motor Induksi 3 Fasa. *ISTN*, XIX(2), 20–29.
- Binus. (2014). Filter Frekuensi Dalam. *BINUS UNIVERSITY*. <https://comp-eng.binus.ac.id/files/2014/05/Filter-Frekuensi.pdf>
- Dermawan, E., & Rahman, R. L. (2018). Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa terhadap Deviasi Pengukuran Energi Listrik pada kWh Meter. *Jurnal Elektrum*, 15(2), 7–16.
- Evalina, N., Azis, A. H., & Zulfikar. (2018). Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 73–80.
- Fauzan, M. R., Martin, Y., & Haris, A. (2015). Analisa Harmonisa Akibat Pengaruh Penggunaan Converter pada Kereta Rel Listrik 1x25 kV Yogyakarta-Solo. *Jurnal Universitas Andalas*, 9(3), 192–202. <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/184/pdf>
- Juhana. (2018). Analisa Pengaruh Beban Linier Dan Beban Non Linier Terhadap Fungsi Kerja Miniature Circuit Breaker.

- Journal of EPIC*, 1(1), 13–23.
- Lestari, D. A. (2021). Analisis Faktor Beban dan Penentuan Kapasitas Trafo dengan Metode K-Means Clustering di PT. PLN (Persero) ULP Pedan pada Sektor Rumah Tangga. In *Studi, Program Elektro, Teknik Teknik, Fakultas Surakarta, Universitas Muhammadiyah*.
- Mutiari. (2013). Analisa Pengukuran Harmonisa Yang Ditimbulkan Oleh Beban Non Linier. *Jurnal Teliska*, 5(1), 15–22.
- Octaviani, A. (2015). Penanganan Harmonisa Terhadap Peningkatan Kualitas Daya Listrik Berbasis Software Etap (Studi Kasus: Pabrik Semen Tonasa V). *Prosiding SNTEK*.
- Purnomo, H. (2017). Rangkaian Elektrik (Analisis Keadaan Mantab). *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang*, 1, 64. <http://elektro.ub.ac.id/wp-content/uploads/2019/01/Rangkaian-Elektrik-pdf.pdf>
- Rozak, O. A. (2019). Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0. *Journal of EPIC*, 2(2). <https://doi.org/10.32493/epic.v2i2.2878>
- Samman, F. A., Ahmad, R., & Mustafa, M. (2015). Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa. *JNTETI*, 4(1), 62–70. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v4i1.140>
- Septarangga, Y. (2019). Inverter Dengan Tegangan Masukan 12V DC dan Tegangan Keluaran AC Dengan Frekuensi Yang Dapat Diatur. *Prodi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma*, 1–23.
- Sukarman, & Almanda, D. (2015). Studi Pengaruh Beban Harmonik dan Peningkatan Perawatan pada Gedung Apartemen Serpong Greenview Banten. *ÉLEKTUM*, 11(2), 19–26.
- Suryadi, A. (2016). Studi Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjinerig Indorama. *Sinergi*, 20(3), 213. <https://doi.org/10.22441/sine.rgi.2016.3.007>