

**PENGARUH HARMONISA TERHADAP RUGI DAYA PADA PENGHANTAR
PADA PLTMH SARWAN****Zulkifli Saleh¹, Yosi Apriani², Surahman Nazori³***Dosen Tetap Prog. Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang^{1, 2, 3}**zulkiflisaleh64@gmail.com**yosi_apriani@um-palembang.ac.id**surahmannazori7@gmail.com***ABSTRAK**

Tenaga listrik memiliki peranan yang penting dalam upaya untuk meningkatkan kualitas hidup dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Terbatasnya penyediaan tenaga listrik menjadi salah satu hambatan dalam pembangunan serta pengembangan warga khususnya di wilayah pedesaan. Secara umum, daerah pedesaan terpencil di kawasan perbukitan memiliki kualitas yang baik dalam pembangkit listrik tenaga air. Di daerah yang jauh dari perkotaan, masih banyak daerah yang kekurangan pasokan daya listrik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan menggunakan kemampuan energi yang bersumber dari lokal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya pada penghantar untuk sistem PLTMH Sarwan. Hasil penelitian ini didapatkan nilai rugi-rugi daya yang terdapat pada beban sebesar 0,0529 Watt sedangkan rugi-rugi yang terdapat pada saluran penghantar adalah 1,8825 Watt, untuk *Total Harmonic Distortion* (THD) yang terdapat pada harmonisa tegangan sebesar 2.55 % dan THD pada arus sebesar 19.80 %.

Kata kunci: *PLTMH; Rugi-Rugi Daya; Harmonisa; THD*

1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik memiliki peranan yang penting dalam upaya untuk meningkatkan kualitas hidup dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Terbatasnya penyediaan tenaga listrik menjadi salah satu hambatan dalam pembangunan serta pengembangan warga khususnya di wilayah pedesaan. Secara umum, daerah pedesaan terpencil di pegunungan memiliki kualitas yang baik dalam pembangkit listrik tenaga air. Di daerah yang jauh dari perkotaan, masih banyak daerah yang kekurangan listrik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan PLTMH dengan menggunakan kemampuan energi yang bersumber dari lokal (Thayib, Nalendra, & Mayasari, 2017).

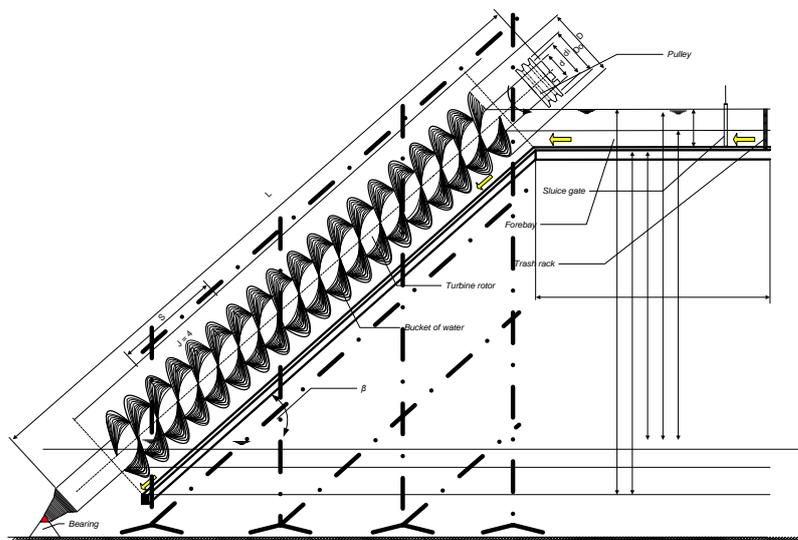
Mikro Hidro adalah suatu sebutan dari kata mikro, yang berarti kecil, dan hidro yang berarti air. Salah satu kegunaan potensial tenaga air adalah PLTMH yang bisa dimanfaatkan secara langsung tidak perlu membangun bendungan dan waduk, jadi struktur sederhana, harga murah, cocok digunakan untuk digunakan di daerah terpencil yang memiliki potensial tenaga air (Nugroho, Suprajitno, & Gunawan, 2017).

PLTMH Sarwan berbasis turbin ulir Archimedes berkapasitas sebesar 5000 Watt dengan fungsi sebagai penyedia daya listrik dikawasan tersebut. Daya listrik yang dihasilkan sistem terdistorsi oleh komponen harmonisa sehingga diperlukan kajian untuk menganalisis kondisi tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

PLTMH merupakan pembangkit listrik kecil yang memanfaatkan terjunan air dan aliran air untuk menggerakkan sistem pembangkitan daya listrik dengan kapasitas kurang 1 MW dari saluran, sungai, terjunan air dan pipa pesat. PLTMH memiliki tiga komponen utama; air (sebagai sumber listrik), turbin dan generator. Sebagian air yang mengalir diarahkan dari ketinggian ke pembangkit listrik. Di pembangkit listrik, air memutar turbin untuk menghasilkan energi mekanik yang memutar poros turbin. Putaran yang dihasilkan dari poros turbin terhubung langsung ke poros generator melalui gearbox dan/atau kopling yang selanjutnya membangkitkan daya listrik untuk konsumsi masyarakat (Jawadz, Prasetijo, & Purnomo, 2019).



Gambar 1. PLTMH berbasis turbin ulir Archimedes

B. Harmonisa

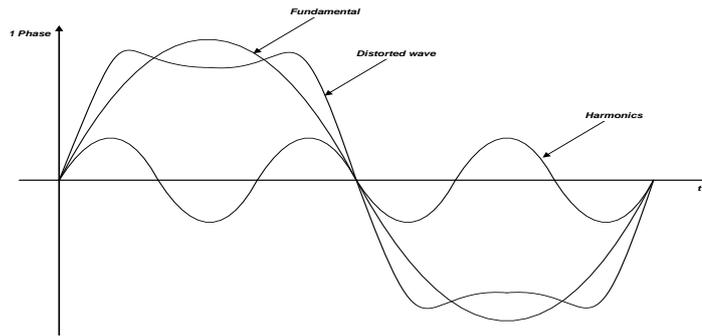
Harmonisa adalah manifestasi dari distorsi sinusoidal dari arus atau tegangan dari suatu sistem kelistrikan. Distorsi gelombang tegangan arus disebabkan oleh pembangkitan gelombang frekuensinya adalah kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Jika harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi $2 \times 50 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$, maka jika frekuensi dasar yang digunakan dalam sistem kelistrikan adalah 50 Hz , maka frekuensi harmonisa ketiga adalah $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$. $3 \dots n$ adalah huruf n.f atau lebih aspek dari frekuensi normal (Ardita, Zamzam, Jufri, & Husnayain, 2020).

$$f_h = f_1 \times n \dots\dots\dots(1)$$

- dengan,
- f_h = frekuensi harmonisa ke-n (Hz)
 - f = frekuensi fundamental sistem (Hz)
 - n = orde harmonisa

a. Sumber harmonisa

Timbulnya gangguan harmonisa dalam sistem kelistrikan disebabkan oleh penggunaan banyak perangkat seperti inverter, konverter dan lampu yang merupakan beban non linier (Bayuna, Sukerayasa, & Ariastina, 2017).



Gambar 2. Gelombang fundamental, gelombang harmonisa dan gelombang terdistorsi

b. Distorsi akibat harmonisa

Harmonisa dapat menyebabkan distorsi harmonisa. Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi daya karena distorsi gelombang tegangan dan arus. Tingkat distorsi harmonisa adalah amplitudo dan sudut fasa dari masing-masing komponen harmonisa sederhana. Hal ini juga umum untuk kuantitas tunggal, THD sebagai ukuran nilai distorsi harmonisa (Koerniawan & Hasanah, 2019).

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dengan,

- V_n = tegangan harmonik orde ke-n
- V_1 = tegangan fundamental (V_{rms})
- $n = 2 - \infty$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

dengan,

- I_n = arus harmonik orde ke-n
- I_1 = arus fundamental (I_{rms})
- $n = 2 - \infty$

c. Rugi-rugi daya

Rugi-rugi daya di jaringan distribusi disebabkan oleh resistansi dan reaktansi konduktor. Energi yang hilang dapat berupa panas dan energi magnetisasi dibangkitkan dalam saluran. Energi panas yang tidak terpakai disebut rugi energi aktif, dan energi magnetisasi disebut rugi daya reaktif (Kartika, 2017).

$$\Delta P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (4)$$

dengan,

- ΔP = rugi-rugi daya aktif (Watt)
- I = arus yang mengalir pada penghantar (A)
- R = tahanan penghantar (Ω)

d. Rugi-rugi pada penghantar

Rugi-rugi yang terkoneksi ke penghantar tergantung pada jumlah arus yang mengalir dan resistansi yang dimiliki penghantar. Pergerakan arus harmonisa (I_{rms}) dalam penghantar menyebabkan panas menumpuk dan meningkatkan rugi-rugi I^2R pada penghantar. Jumlah kerugian penghantar karena adanya komponen harmonisa dalam arus beban (Afif, Sukerayasa, & Ariastina, 2018):

$$P_{Loss} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \cdot R_n \dots\dots\dots (5)$$

dengan,

- P_{Loss} = rugi-rugi penghantar (Watt)

- I_n = arus komponen harmonisa (*Ampere*)
- R_n = arus komponen harmonisa (*Ampere*)

e. Tahanan penghantar

Tahanan penghantar bergantung pada bahan/material, temperatur serta frekuensi. Kondisi fisik penghantar menentukan besar tahanan arus searah dari penghantar yang berbanding lurus dengan tahanan dan panjang penghantar serta berbanding terbalik dengan luas penampang (Hontong, Tuegeh, & Patras, 2015).

$$R_{dc} = P \frac{l}{A} \dots\dots\dots(6)$$

- dengan,
- R_{dc} = tahanan dari kawat (Ω)
- P = tahanan jenis pada suhu 20°C (kW)
 - = 0,0175 ohm mm²/m untuk tembaga
 - = 0,0287 ohm mm²/m untuk alumunium
- l = panjang kawat (m)
- A = luas penampang (m²)

f. Beban listrik

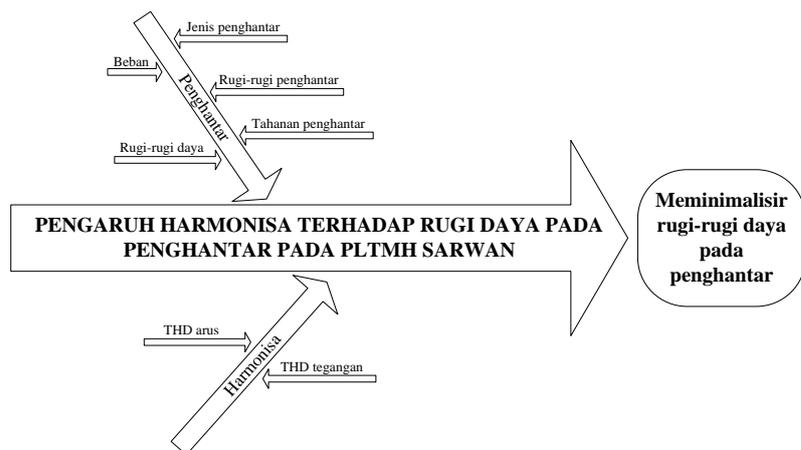
Contoh beban listrik adalah pemanas, lampu, televisi dan pemanas listrik. Oleh karena itu, ketika menggunakan listrik di rumah, beban listrik total adalah jumlah dari semua energi yang digunakan oleh peralatan listrik yang aktif, karena perangkat tidak menggunakan listrik saat dimatikan (Pangestu, Ardianto, & Alfaresi, 2019).

Beban listrik juga bisa disebut sebagai hambatan/resistan (*resistance*), dalam ilmu listrik dimana dapat dirumuskan pada hukum Ohm.

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(7)$$

- dengan,
- I = arus listrik (*Ampere*)
- R = hambatan listrik (*Ohm*)
- V = tegangan listrik (*Volt*)

A. *Diagram Fishbone*



Gambar 3. Diagram Fishbone

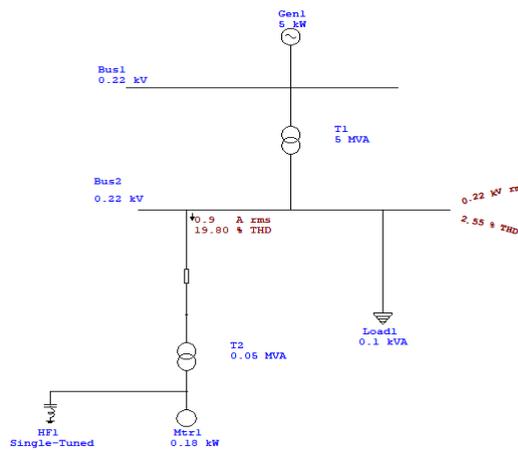
B. Tahap pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian mengarah pada tinjauan parameter yang dikenali yaitu dalam lingkup harmonisa dan penghantar. 2 (dua) parameter pada harmonisa yang dikenali adalah; (1) THD arus dan (2) THD tegangan. Parameter pada penghantar yang dikenali adalah; (1) jenis penghantar, (2) rugi-rugi penghantar, (3) tahanan penghantar, (4) beban dan (5) rugi-rugi daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data single line diagram

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menggambar secara keseluruhan diagram segaris penghantar, selanjutnya memasukkan data-data yang diperlukan kemudian dilakukan *running harmonic analysis load flow* pada ETAP Power Station untuk melihat nilai THD arus dan THD tegangan.



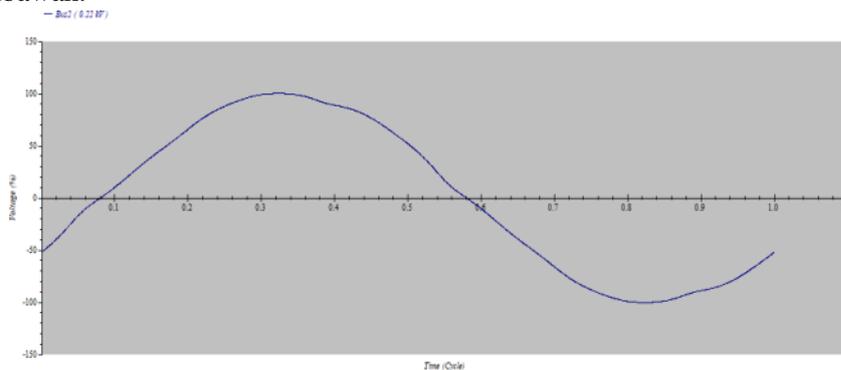
Gambar 4. Single Line Diagram

Dari hasil *running* simulasi harmonisa diatas dengan software ETAP diperoleh distorsi harmonisa tegangan dan arus seperti terlihat pada Tabel 1. berikut.

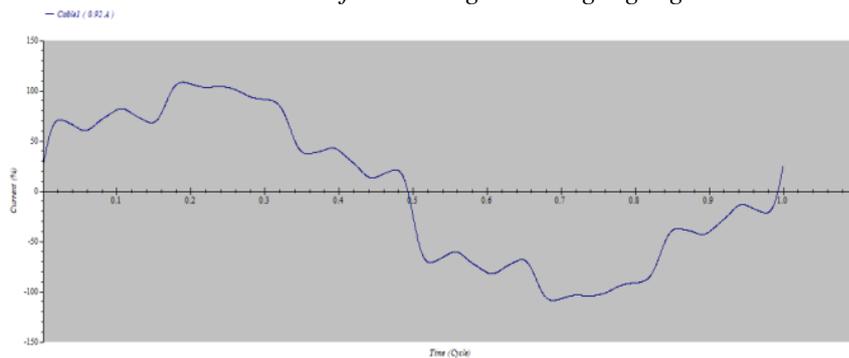
Tabel 1. Hasil simulasi harmonisa tegangan dan arus

Bus ID	Rated kV	RMS (%)	THDv (%)	THDi (%)
Bus 2	00.22	00.22	02.55	0,8472222
Bus 2	00.22	00.09		

Dari hasil *running harmonic analysis* seperti pada Tabel 1. diatas maka diperoleh nilai THD tegangan dan arus dari bus yang telah di-plot. Selanjutnya untuk melihat gelombangnya dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 5. Grafik bentuk gelombang tegangan



Gambar 6. Grafik bentuk gelombang arus

B. Perhitungan rugi-rugi daya

Untuk perhitungan rugi-rugi daya dapat dilihat sebagai berikut.

$$I (\text{Arus})^2 = 0.46 \text{ A}$$

$$R (\text{Tahanan}) = 0.25 \Omega/\text{km}$$

$$\Delta P = I^2 \cdot R$$

$$= 0.46^2 \times 0.25$$

$$= 0.0529 \text{ Watt}$$

C. Perhitungan rugi-rugi penghantar

Arus yang mengalir pada saluran penghantar dengan kandungan harmonisa yang telah didapatkan dari simulasi ETAP akan digunakan untuk menghitung rugi-rugi penghantar. Sebagai contoh menghitung rugi-rugi daya pada penghantar sebagai berikut.

$$I_{\text{rms}} (\text{Arus Harmonisa}) = 0.9 \text{ A}$$

$$L (\text{Panjang Penghantar}) = 3000 \text{ m} = 3.000 \text{ km}$$

$$R (\text{Tahanan}) = 0.25 \Omega/\text{km} \cdot 3.000 \text{ km} \\ = 0.75 \Omega$$

$$\Delta P = 3 \times \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \cdot R_n \\ = 3 \times (I_{\text{rms}})^2 \cdot R \\ = 3 \times (0.9)^2 \times 0.75 \\ = 1.8825 \text{ Watt}$$

a. Data perhitungan tahanan penghantar

Untuk perhitungan tahanan pada sistem penghantar adalah sebagai berikut.

$$P (\text{Tahanan pada suhu } 20^\circ\text{C}) = 0.0175 \Omega$$

$$L (\text{Panjang kawat}) = 3000 \text{ m} = 3.000 \text{ km}$$

$$A (\text{Luas penampang}) = 0.072 \text{ m}$$

$$R_{\text{dc}} = P \frac{L}{A}$$

$$= 0.0175 \times 3.000 / 0.072$$

$$= 0.0175 \times 41.6$$

$$= 0.728 \text{ Ohm}$$

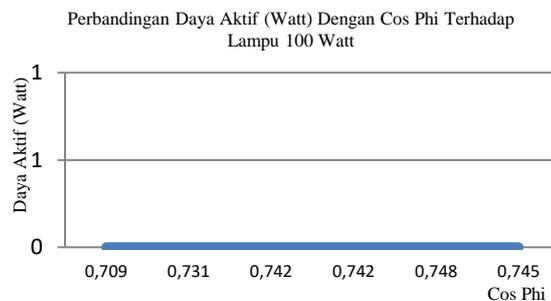
b. Data beban lampu 100 Watt

Untuk beban Lampu 100 Watt dilakukan pengambilan data melingkupi arus, tegangan, daya. Berikut data yang diambil.

Tabel 2. Data pengukuran lampu 100 Watt

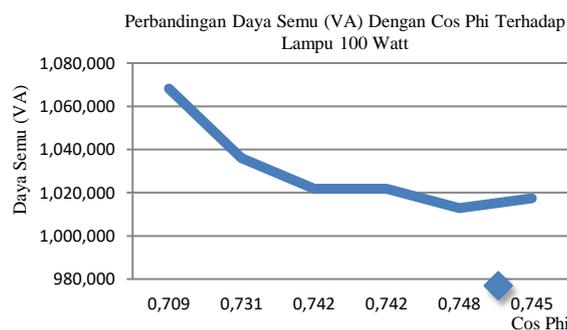
Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Daya (VA)	Daya (VAR)	Cos Phi
0,46	232,21	75,82	106,8166	75,24	0,709
0,45	230,21	75,81	103,5945	70,602	0,731
0,44	232,22	75,83	102,1768	68,482	0,742
0,44	232,22	75,83	102,1768	68,482	0,742
0,44	230,19	75,84	101,2836	67,131	0,748
0,44	231,22	75,82	101,7368	67,835	0,745

Data diatas kemudian dibuat grafik untuk menganalisa perbandingan beban lampu terhadap segitiga daya. Seperti pada gambar dibawah ini.



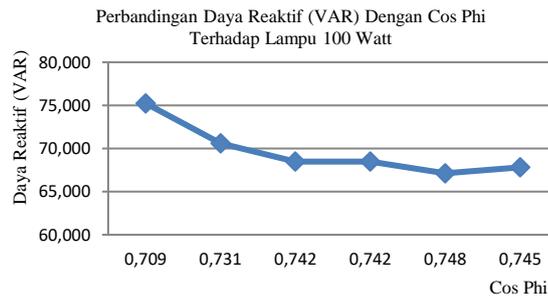
Gambar 7. Perbandingan daya aktif (Watt) dengan cos phi terhadap lampu 100 Watt

Hasil perbandingan faktor daya dan daya aktif (Watt) pada lampu 100 Watt terpantau konstan karena hanya mengandung beban resistif sehingga grafik yang ditunjukkan berbanding lurus antara daya aktif dan faktor daya.



Gambar 8. Perbandingan daya semu (VA) dengan cos phi terhadap lampu 100 Watt

Hasil perbandingan antara faktor daya dan daya semu terpantau mengalami penurunan yang cukup terstruktur mulai dari daya yang dihasilkan dan faktor daya yang terlihat. Hal ini karena beban tersebut mengandung beban kapasitif sehingga beban yang ditunjukkan bersifat *leading*.



Gambar 9. Perbandingan daya reaktif (VAR) dengan cos phi terhadap lampu 100 Watt

Untuk daya reaktif, grafik terpantau mengalami penurunan yang cukup signifikan seperti daya semu. Hal ini dapat disimpulkan bahwa daya semu dan daya reaktif mengalami penurunan, sedangkan daya aktif tidak mengalami apapun dan grafik yang didapat hanya berbanding lurus.

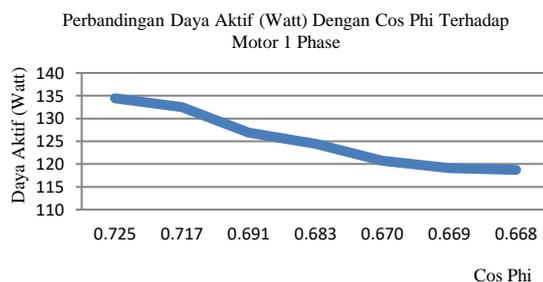
c. data beban motor 1 phase 0.5 hp

Untuk beban motor 1 phase 0.5 hp dilakukan pengambilan data melingkupi arus, tegangan, daya. Berikut data yang diambil.

Tabel 3. Data pengukuran motor 1 phase

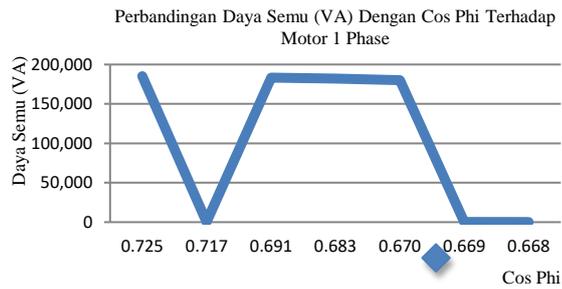
Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Daya (VA)	Daya (VAR)	Cos phi
0,835	221,785	134,435	185.190	127.367	0,5034722
0,834	221,6	132,52	184,814	128.820	0,4979167
0,829	221,35	126,876	183.499	132.568	0,4798611
0,825	220,78	124,42	182.143	133.025	0,4743056
0,815	220,765	120,7	179.923	133.430	0,4652778
0,81	219,56	119,12	177,843	132.055	0,4645833
0,81	219,11	118,72	177,479	131.925	0,4638889

Data diatas kemudian dibuat grafik untuk menganalisis perbandingan beban motor terhadap segitiga daya. Ditunjukkan pada gambar dibawah.



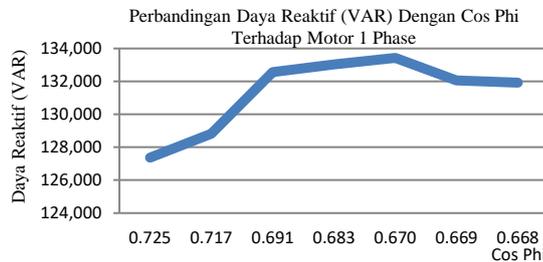
Gambar 10. Perbandingan daya aktif (Watt) dengan cos phi terhadap motor 1 phase

Perbandingan antara daya aktif dan cos phi untuk beban motor 1 phase terpantau memiliki turunan yang cukup terstruktur mulai dari daya yang dihasilkan dan faktor daya yang terlihat. Hal ini sebagai akibat beban motor yang termasuk beban kapasitif sehingga beban yang diujikan bersifat *leading*.



Gambar 11. Perbandingan daya semu (VA) dengan cos phi terhadap motor 1 phase

Perbandingan daya semu dengan cos phi untuk beban motor 1 phase mengalami penurunan secara drastis saat melakukan pengukuran kedua kemudian naik secara drastis pada pengukuran ketiga, kemudian terpantau konstan pada pengukuran keempat dan kelima selanjutnya mengalami penurunan lagi pada pengukuran keenam. Hal ini disebabkan karena motor tersebut termasuk beban kapasitif.



Gambar 12. Grafik perbandingan daya reaktif (VAR) dengan cos phi terhadap motor 1 phase

Grafik pada daya reaktif untuk beban motor 1 phase terpantau mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada beban motor daya aktif dan daya semu mengalami penurunan sedangkan daya reaktif mengalami kenaikan.

d. Hasil pengujian dengan *oscilloscope* pada motor 1 phase

Pengujian pada motor 1 phase, didapatkan gelombang sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif dengan menggunakan *oscilloscope* dengan ring Volts/DIV-1 untuk pengujian harmonisa tanpa filter dan ring Volts/DIV 1 untuk pengujian harmonisa menggunakan filter.



Gambar 13. Bentuk gelombang tanpa filter

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada motor 1 phase tanpa dipasang filter sangat terlihat jelas gangguan/harmonisa gelombang yang terbaca oleh *oscilloscope* tersebut tidak stabil.



Gambar 14. Bentuk gelombang dengan filter

Pada gambar diatas adalah gelombang harmonisa pada beban motor 1 phase yang sudah dipasang filter untuk mereduksi gangguan/harmonisa yang terjadi, gelombang yang terbaca oleh *oscilloscope* tersebut tidak mengalami kecacatan karena adanya filter yang sudah terpasang.

4. PENUTUP

Rugi-rugi daya pada beban sebesar 0,0529 Watt, rugi- rugi pada saluran penghantar adalah 1,8825 Watt, untuk *Total Harmonic Distortion* (THD) pada harmonisa tegangan sebesar 2.55 % dan *Total Harmonic Distortion* (THD) pada arus sebesar 19.80 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, S., Sukerayasa, I. W., & Ariastina, W. G. (2018). Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap Rugi-Rugi Daya pada Sistem Tegangan Rendah dan Transformator GR088 di Penyulang Menjangan. *E-Journal SPEKTRUM* , 5, 2-3.
- Ardita, M. Y., Zamzam, A., Jufri, F. H., & Husnayain, F. (2020). Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL). *CYCLOTRON* , 3, 2.
- Bayuna, I. D., Sukerayasa, I. W., & Ariastina, W. G. (2017). Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Menjangan. *Teknologi Elektro* , 16, 124.
- Hontong, N. J., ST. MT., M. T., & Patras, L. S. (2015). Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer* , 67.
- Jawadz, R. H., Prasetijo, H., & Purnomo, W. H. (2019). Studio Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Aliran Sungai Desa Kejawar Banyumas. *Dinamika Rekayasa*, 15.
- Kartika, I. (2017). Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif. *Jurnal Surya Energy* , 1, 105.
- Koerniawan, T., & Hasanah, A. W. (2019). Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT PLN Jakarta. *KILAT* , 8, 181-182.
- Nugroho, D., Suprajitno, A., & Gunawan. (2017). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang. *Jurnal Rekayasa Elektrika* , 13, 161.
- Pangestu, A. D., Ardianto, F., & Alfaresi, B. (2019). Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266. *Jurnal Ampere* , 4, 188-189.
- Thayib, R., Nalendra, S., & Mayasari, E. D. (2017). Estimasi Sumberdaya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Dalam Pemenuhan Kebutuhan Listrik Dusun Pulau Timun, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Geomine* , 05, 135.