

ANALISIS PENGUKURAN KAPASITOR BANK DENGAN *TUNED REACTOR* PADA GEDUNG ATRIA RESIDENCES GADING SERPONG

David Ryanto M Nadeak^{1 *}, Leonard Lisapaly¹, Rismen Sinambela¹ dan Martua Manik²

¹Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Indonesia

^{*}) E-mail: davidryantonadeak@gmail.com

Abstrak

Penggunaan beban nonlinier terus meningkat dalam jaringan sistem kelistrikan pada suatu gedung yang telah menarik perhatian untuk memahami sifat harmonik dan teknik mitigasinya. Kapasitor dengan *tuned reactor* digunakan untuk membantu menjaga faktor daya yang dipasang di lingkungan yang kaya akan harmonik. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh beban nonlinier sebagai penyebab munculnya harmonik dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur Hioki 3198. Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisa menggunakan metode kuantitatif dengan membandingkan berdasarkan standar IEEE 519-1992, nilai faktor daya mengacu pada Standar PLN 70-1 (85%) dan frekuensi mengacu pada Standar IEC 6100-2-1-1990 (50Hz). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai THD_V memenuhi standar pada fasa L2 (S) sebesar 1,08% dari nilai acuan 5% dan nilai THD_I mendekati batas standar pada fasa T dan melewati standar pada fasa L2 (S) rata-rata sebesar 14,27%, dimana dari perhitungan standar didapat *range* yang diperbolehkan adalah sebesar 15% sedangkan hasil yang didapat dari pengukuran sudah mendekati standar. Nilai pengukuran frekuensi rata-rata memenuhi standar IEC sebesar 50 Hz. Namun nilai faktor daya, batas standar yang diperbolehkan yaitu $\geq 85\%$, sedangkan yang terukur yaitu kisaran -60% hingga -90%. Berdasarkan penelitian ini, perlu dilakukan mitigasi menggunakan Voltage Automatic Adjustment System (VAAS) menggunakan alat Static Var Generator dengan *rating* 600kVar dengan kondisi *Power Factor* terukur.

Kata kunci: Harmonik, Kapasitor bank, Tuned reactor

Abstract

The increasing use of nonlinear loads in building electrical system networks has attracted attention to understand the nature of harmonics and mitigation techniques. Capacitors with tuned reactors are used to help maintain the power factor installed in an environment rich in harmonics. Therefore, to determine the effect of nonlinear loads as a cause of harmonic emergence, measurements were taken using a Hioki 3198 measuring instrument. Furthermore, the data obtained was analysed using quantitative methods by comparing based on the IEEE 519-1992 standard, the power factor value refers to PLN Standard 70-1 (85%) and the frequency refers to IEC Standard 6100-2-1-1990 (50Hz). The results show that the THD_V value meets the standard in the L2 (S) phase by 1.08% of the reference value of 5% and the THD_I value is close to the standard limit in the T phase and exceeds the standard in the L2 (S) phase by an average of 14.27%, where from the standard calculation the allowable range is 15% while the results obtained from the measurement are close to the standard. The average frequency measurement value meets the IEC standard of 50 Hz. However, the value of the power factor, the standard limit allowed is $\geq 85\%$, while the measured range is -60% to -90%. Based on this research, it is necessary to mitigate using Voltage Automatic Adjustment System (VAAS) using a Static Var Generator with a rating of 600kVar with a measured Power Factor condition.

Keywords: Harmonics, Capacitor banks, Tuned

1. Pendahuluan

Energi listrik sangat penting dalam memenuhi kegiatan aktifitas kehidupan manusia. Lebih dari 75% kegiatan manusia bergantung pada sumber energi listrik [1], sehingga kegiatan tidak dapat berjalan jika aliran listrik berhenti dan salah satunya pada kegiatan industri bisnis apartemen dan hotel. Perkembangan teknologi pada sistem

kelistrikan yang semakin maju, menuntut pengelolaan suatu gedung harus memiliki sistem jaringan kelistrikan yang baik agar dapat memberikan pelayanan terbaik serta menjadi kepuasan bagi konsumennya [2].

Penggunaan perangkat berbasis elektronik seperti; internet, lampu hemat energi, TV, komputer, printer, kulkas, pengisian baterai, pendingin ruangan, motor pompa, serta

lainnya merupakan sarana dan prasarana penunjang yang harus diberikan, dimana membutuhkan energi listrik untuk menjalankannya. Namun, beban non-linier dari penggunaan tersebut menyebabkan harmonik, yang dapat mengganggu sistem distribusi tenaga listrik [3] [4]. Beban linier dapat memengaruhi gelombang arus dan tegangan dalam sistem distribusi tenaga listrik, hal ini sebagai penyebab harmonik yang berarti gelombang tidak lagi berbentuk sinusoidal murni [5]. Apabila dibiarkan, tingginya harmonik beban pada distribusi listrik akan menimbulkan masalah teknis dan finansial [2]. Selain itu, menurut Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 70-1, faktor daya tidak boleh kurang dari 0,85% [6]. Solusinya adalah menggunakan kapasitor dengan *tuned reactor* yang disesuaikan, maka kapasitor bank dapat meningkatkan faktor daya (*cos phi*) dan berfungsi sebagai filter harmonik.

Beberapa peneliti telah membahas bagaimana pemasangan kapasitor, biasanya dipasang secara paralel dengan beban dan jika pemasangan kapasitor yang terlalu besar akan meningkatkan tegangan kerja motor, yang dapat menyebabkan suhu motor meningkat akibatnya motor dapat terbakar [7]. Penelitian terhadap pengaruh kapasitor bank dan *detuned reactor* telah dikaji. Studi ini menunjukkan bahwa *detuned reactor* lebih baik dari kapasitor bank dalam mengkompensasi daya reaktif dan faktor daya [6]. Hasil analisis penelitian lain di Hotel Melia Bali dengan pemasangan kapasitor menunjukkan bahwa faktor daya dapat meningkat sebesar 11% dari 0,84 menjadi 0,95, yang sudah melebihi batas minimum rata-rata faktor daya yang ditetapkan oleh penyesuaian tarif tenaga listrik PLN. Selain itu, arus beban dapat turun 12% dari 442,3 A menjadi 389,5 A [8]. Menurut penelitian lain menyimpulkan bahwa penggunaan kapasitor akan memberikan dampak panas yang berlebihan pada peralatan seperti transformator dan motor listrik [9]

Berdasarkan literatur diatas, penelitian ini dilakukan di Gedung Atria Residence Gading Serpong yang telah menggunakan kapasitas kapasitor sebesar 650 KVAR dengan pemasangan *tuned reactor* sebesar 400V. Untuk mengetahui pengaruh beban nonlinier sebagai penyebab munculnya harmonik dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer PQ 3198. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992, nilai faktor daya mengacu pada Standar PLN 70-1 (85%) dan frekuensi mengacu pada Standar IEC 6100-2-1-1990 (50Hz). Hasil penelitian diharapkan dapat membantu menentukan metode serta sebagai referensi perbaikan dampak harmonik, faktor daya dan frekuensi mana yang paling tepat untuk sistem ini.

2. Metode

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Gedung Atria Residence Gading Serpong, Jl. Boulevard CBD Gading Serpong Lot no. 5, Paramount Serpong-Tangerang diperlihatkan pada

Gambar 1. Dimana mengelola bisnis hotel dan apartemen dengan memiliki 21 lantai dengan beberapa fasilitas seperti, 124 kamar apartemen, termasuk 70 satu kamar tidur, 10 satu kamar tidur dengan dapur, 42 dua kamar tidur, 2 kamar tidur dan tiga kamar tidur, *swimming pool*, *meeting room* serta yang lainnya. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 26 April 2024 jam 14:00 wib sampai dengan 30 April 2024 jam 14:00 wib, interval waktu 10 menit.



Gambar 1. Gedung Atria Residence Gading Serpong

2.2. Langkah Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan mengukur kapasitas trafo yang digunakan terhadap beban. Berikut gambar trafo yang digunakan terlihat pada Gambar 2 dan data spesifikasi trafo ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Foto dan Data Spesifikasi Trafo

Tabel 1. Data Spesifikasi Trafo

| Data Trafo | Nilai | Satuan |
|----------------------------|---------|--------|
| Daya, kVA | 1600 | KVA |
| Primer Voltage, V HV | 20000 | V |
| Sekunder Voltage, V LV | 400 | V |
| Primer Current, I HV | 46,19 | A |
| Sekunder Current, I LV | 2309,40 | A |
| Short circuit impedance, Z | 6 | % |

Kapasitor bank dengan *tuned reactor* yang berfungsi sebagai filter harmonik pasif, dimana filter pasif pada sistem distribusi sebagian besar harmonik akan mengalir dan dibersihkan oleh filter pasif tersebut [10]. Spesifikasi *tuned reactor* yang digunakan yaitu; tegangan 400V, Panjang 235 mm, lebar 170 mm, tinggi 195 mm dan berat 17 kg, lebih jelasnya *tuned reactor* yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tuned Reactor SINEL type FLTR-6

Selanjutnya dilakukan pengukuran sumber tegangan dan kuat arus pada sistem jaringan tersebut terhadap dampak beban nonlinier. Alat ukur yang digunakan Power Quality Analyzer PQ 3198 diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat ukur Power Quality Analyzer PQ 3198

Miniature Circuit Breaker (MCB) dipasang pada sistem, berfungsi untuk melindungi sistem dari arus berlebih atau arus hubung singkat [6]. Berikut *wiring* penelitian diperlihatkan pada Gambar 5.

Tabel 2. Batas Distorsi Tegangan [11]

| Bus voltage V at PCC | Individual harmonic (%) | Total harmonic distortion THD (%) |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 69 kV and below | 3.0 | 5.0 |
| 69 kV < V ≤ 161 kV | 1.5 | 2.5 |
| 161 kV and above | 1.0 | 1.5 |

NOTE: High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

Tabel 3. Batas distorsi arus untuk sistem dengan nilai maksimum 120 V hingga 69 kV [11]

| Maximum harmonic current distortion in percent of IL | | | | | | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| ISC/IL | Individual harmonic order (odd harmonics) | | | | | TDD |
| | < 11 | 11 ≤ h < 17 | 17 ≤ h < 23 | 23 ≤ h < 35 | 35 ≤ h ≤ 50 | |
| < 20c | 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 |

The even harmonic limit is 25% of the odd harmonic limit mentioned above.

Current distortion that produces a fixed current offset, such as a half-wave converter, is prohibited.

* Any power generation equipment is limited to this current distortion value, regardless of the actual I_{sc}/I_L .

where

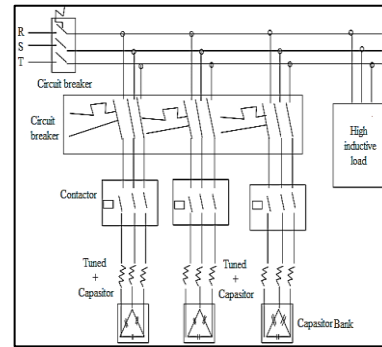
I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current at PCC (fundamental frequency component).

TDD = the harmonic current distortion in per cent of the maximum demand load current (15 or 30 minutes of demand).

PCC = Point of common coupling.

h = harmonic number at PCC



Gambar 5. Wiring dari Panel Listrik Sistem

Data hasil pengukuran, kemudian dianalisis dengan membandingkan berdasarkan acuan standar yaitu; nilai faktor daya sesuai standar (SPLN) 70-1 (85%), nilai frekuensi sesuai standar IEC 6100-2-1-1990 (50Hz), dan THD harmonik berdasarkan standar IEEE 519-1992 yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Hasil analisa pengukuran dari alat ukur dapat berupa gelombang atau spektrum yang terjadi pada tiap orde harmonik, selain itu, pada masing-masing orde harmonik dapat berbentuk teks dan grafik. Langkah selanjutnya memasukkan data hasil pengukuran kedalam tabel dan melakukan analisa perhitungan. Nilai RMS adalah akar kuadrat dari nilai rata-rata (*mean*) dari fungsi kuadrat, untuk mendapatkan nilai rata-rata arus (I_{RMS}) dapat menggunakan Persamaan 1 dan rata-rata tegangan (V_{RMS}) dapat menggunakan Persamaan 2 [12].

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}{n}} \quad (1)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n}} \quad (2)$$

Dimana:

n = periode harmonik

I_n = jumlah arus rms (A)

V_n = jumlah tegangan komponen fundamental rms (V)

Dalam sistem jaringan kelistrikan arus bolak-balik (AC) terdapat tiga jenis daya dan dapat dihitung menggunakan rumus, yaitu; daya semu (*apparent power*) dapat menggunakan Persamaan 3, daya aktif (*power active*) dapat menggunakan Persamaan 4, dan daya reaktif (*reactive power*) dapat menggunakan Persamaan 5. Sifat beban terpasang secara resistif, induktif, dan kapasitif dapat memengaruhi penggunaan daya listrik. Selanjutnya menghitung faktor daya (PF), dimana faktor daya merupakan rasio daya aktif (P) dengan daya semu (S) beban listrik yang dinyatakan dengan $\cos \varphi$ mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1 dan dapat dinyatakan dalam persen [13]. Untuk mendapatkan nilai tersebut dapat menggunakan Persamaan 6 [14]. Sedangkan nilai frekuensi didapat dari hasil pengukuran rata-rata frekuensi yang terjadi.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (3)$$

$$P = S \times \cos \varphi \quad (4)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (5)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Dimana:

S = daya semu (VA)

P = daya aktif (W)

Q = daya reaktif (VAR)

$\cos \varphi$ = faktor daya (%)

Tahap terakhir dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai THD arus dapat menggunakan Persamaan 7 [11].

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana:

I_h = komponen harmonik arus ke-h (A)

I_1 = nilai komponen fundamental rms (A)

Untuk mendapatkan nilai THD tegangan dapat menggunakan Persamaan 8 [11].

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

V_h = komponen harmonik tegangan ke-h (V)

V_1 = nilai tegangan komponen fundamental rms (V)

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis pengukuran dan pembahasan ditampilkan pada sub-bab untuk mengetahui hasil penggunaan kapasitor bank dengan *tuned reactor* di Gedung Atria Residence Gading Serpong.

3.1. Hasil Analisis Pengukuran Arus dan Tegangan Harmonik

Permasalahan kualitas daya menurun adalah harmonik, dimana gelombang tegangan dan arus tidak sinusoidal. Untuk mengetahuinya dapat dilakukan pengukuran. Berikut hasil pengukuran arus harmonik diperlihatkan pada Gambar 6.

Gambar 6 memperlihatkan bentuk gelombang hasil pengukuran tidak sinusoidal murni, artinya bentuk gelombang terjadi hanya setengah siklus positif. Dimana fasa L1 (R) ditunjukkan dengan grafik warna merah, fasa L2 (S) dengan grafik berwarna hijau dan fasa L3 (T) dengan grafik berwarna biru. Berdasarkan hasil pengukuran pada fasa L1 yaitu; nilai arus puncak sebesar 168,22 A, nilai rata-rata arus sebesar 132,01 A dan nilai minimum arus sebesar 117,69 A. Pada fasa S nilai arus maksimum sebesar 114,18 A dan fasa T nilai rata-rata arus maksimal sebesar 106,74 A. Lebih jelas hasil pengukuran arus ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Arus Harmonik

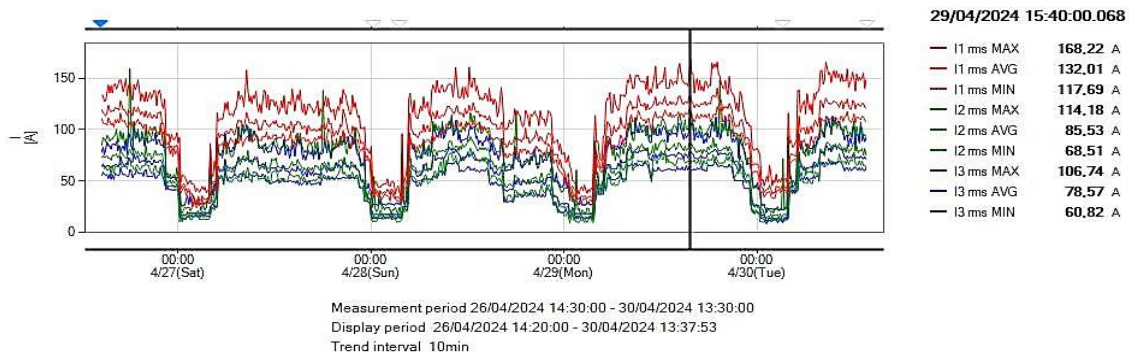
| Kode | Jumlah Arus (A) | | |
|------|-----------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 | 168,22 | 117,69 | 132,01 |
| L2 | 114,18 | 68,51 | 85,53 |
| L3 | 106,74 | 60,82 | 78,57 |

Harmonik terjadi akibat adanya beban nonlinier, dimana arus tidak sebanding dengan tegangan, oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran terhadap tegangan. Untuk hasil pengukuran tegangan harmonik diperlihatkan pada Gambar 7.

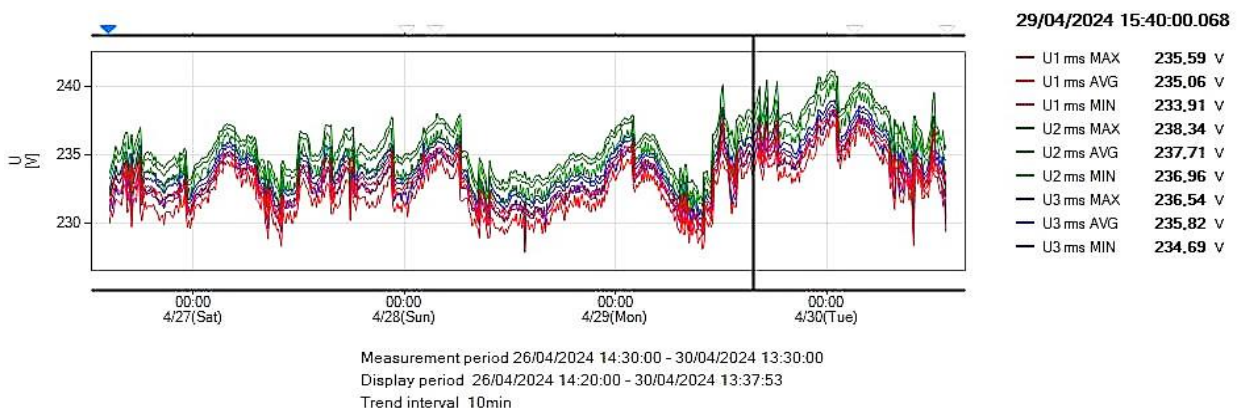
Gambar 7 menunjukkan bahwa hasil pengukuran tegangan harmonik dalam kondisi tidak seimbang. Hal dapat dilihat pada titik puncak di tanggal 30 April 2024 terjadi peningkatan yang signifikan dibandingkan hari sebelumnya. Trend grafik menunjukkan peningkatan terjadi pada fasa L2 (S) yang berwarna hijau yaitu sebesar 238,34 V. Pada fasa L3 (T) berwarna biru sebesar 236,96 V melebihi nilai dari fasa L1 (R) yaitu hanya sebesar 235,59 V. Hal ini disebabkan terjadinya *unbalance* yang melibatkan beban yang tidak merata di antara fasa-fasa. Fungsi kapasitor bank dengan *turned reactor* tidak berfungsi dengan baik untuk mensuplay daya, memperbaiki faktor daya, mengurangi *voltage drop* dan melakukan penghematan daya. Lebih jelas hasil pengukuran tegangan harmonik ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan Harmonik

| Kode | Jumlah Tegangan (Volt) | | |
|------|------------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 | 235,59 | 233,91 | 235,06 |
| L2 | 238,34 | 236,96 | 237,71 |
| L3 | 236,54 | 234,69 | 235,82 |



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran Arus



Gambar 7. Grafik Hasil Pengukuran Tegangan

3.2. Hasil Analisis Segitiga Daya

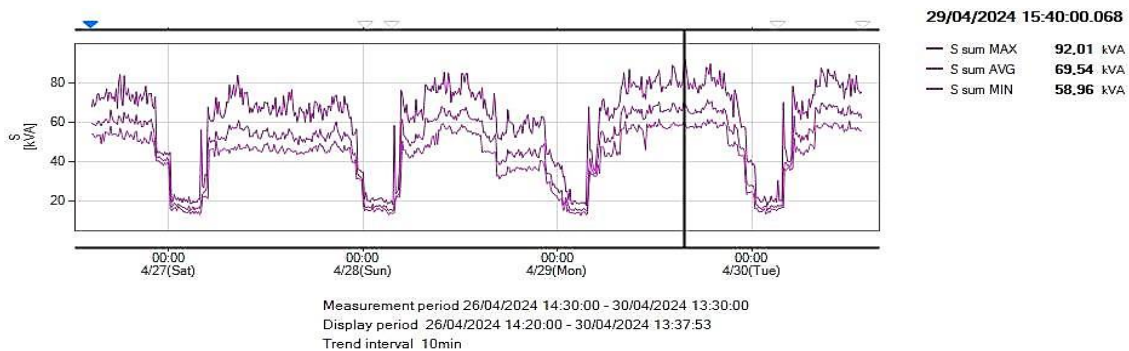
3.2.1. Hasil Pengukuran Daya Semu (S)

Untuk mengetahui seluruh daya dari energi listrik yang dikeluarkan untuk melakukan kerja perlu dilakukan pengukuran. Berikut hasil pengukuran daya semu dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 6. Total Hasil Pengukuran Daya Semu (S)

| Kode | Jumlah Daya Semu (VA) | | |
|--------------|-----------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 – L2 – L3 | 92,01 | 58,96 | 69,54 |

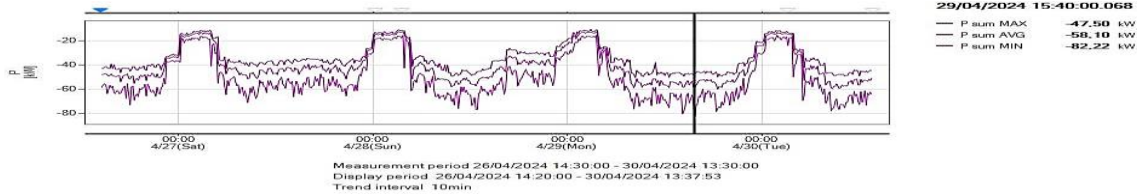
Gambar 8 memperlihatkan trend grafik mengalami perbedaan disetiap data tanggal pengukuran, dimana titik puncak terjadi di tanggal 29 April 2024 dan titik minimum terjadi pada tanggal 27 April 2024. Hal ini disebabkan tingginya penggunaan peralatan elektronik penghuni apartemen dan pengunjung hotel, berdampak pada beban yang dihasilkan tidak merata disetiap fasa pada data tanggal pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran total daya semu (S) yaitu; nilai maksimal sebesar 92,01 kVA, nilai minimum sebesar 58,96 kVA dan nilai rata-rata sebesar 69,54 kVA. Total hasil pengukuran daya semu (S) ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 8. Grafik Total Hasil Pengukuran Daya Semu (S)

3.2.2. Hasil Pengukuran Daya Aktif (P)

Tujuan pengukuran daya aktif adalah untuk mengetahui daya sebenarnya yang digunakan untuk menjalankan kerja pada sirkuit jaringan listrik. Total hasil pengukuran daya aktif diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Total Hasil Pengukuran Daya Aktif (P)

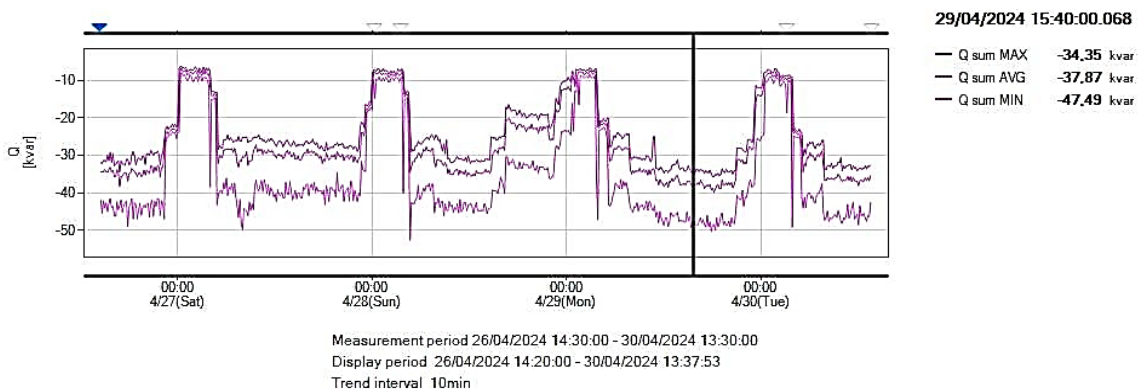
Gambar 9 memperlihatkan trend grafik mengalami penurunan yang cukup signifikan. Perbedaan daya aktif juga terjadi disetiap data tanggal pengukuran, dimana fasa L2 (S) mendominasi dengan titik puncak terjadi di tanggal 29 April 2024 dan titik minimum terjadi pada tanggal 27 April 2024. Hal ini disebabkan adanya peningkatan beban yang tidak merata disetiap fasa pada data tanggal pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran total daya aktif (P) yaitu; nilai maksimal sebesar -47,5 W, nilai minimum sebesar -82,22 W dan nilai rata-rata sebesar -58,1 W. Hasil pengukuran daya aktif (P) secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Total Hasil Pengukuran Daya Aktif (P)

| Kode | Jumlah Daya Aktif (W) | | |
|--------------|-----------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 – L2 – L3 | -47,5 | -82,22 | -58,1 |

3.2.3. Hasil Pengukuran Daya Reaktif (Q)

Tujuan pengukuran daya reaktif adalah untuk mengetahui daya yang dibutuhkan sirkuit listrik untuk mengatasi variasi arus dan tegangan. Hasil pengukuran daya reaktif (Q) diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Total Hasil Pengukuran Daya Reaktif (Q)

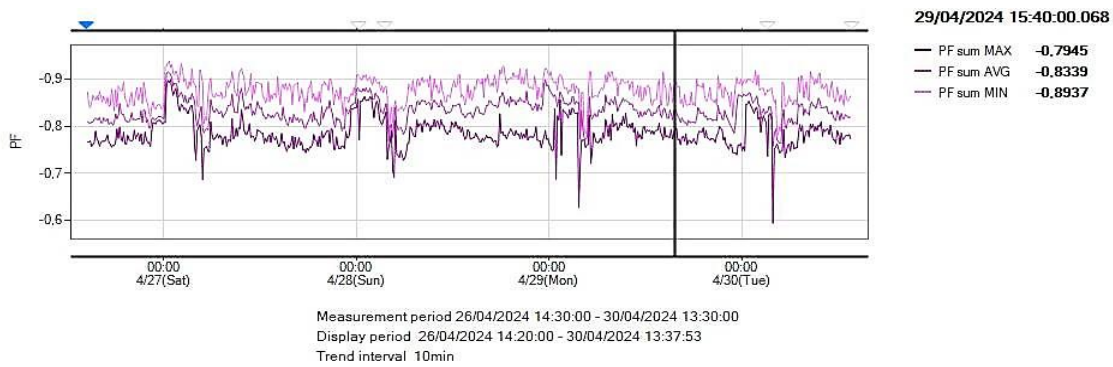
Tabel 8. Total Hasil Perhitungan Daya Reaktif (Q)

| Kode | Jumlah Daya Reaktif (VAR) | | |
|--------------|---------------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 – L2 – L3 | -34,35 | -47,49 | -37,87 |

Gambar 10 memperlihatkan trend grafik hasil pengukuran daya reaktif bernilai negatif yang artinya kondisi pada sistem jaringan kelistrikan tidak dikelola dengan baik dan benar. penggunaan kapasitor bank dengan *turned reactor* tidak memiliki nilai yang signifikan, hal ini dibuktikan adanya ketidakseimbangan pada sistem jaringan listrik yang mengakibatkan penurunan kapasitas pengisian daya dan penurunan efisiensi energi. Berdasarkan data hasil pengukuran daya reaktif (Q) secara keseluruhan di tunjukkan pada Tabel 8.

3.2.4. Hasil Analisis Faktor Daya (PF)

Hasil pengukuran faktor daya diperlihatkan pada Gambar 11. Gambar 11 menunjukkan nilai faktor daya mengalami penurunan dan bernilai negatif. Hal ini disebabkan oleh penggunaan perangkat dengan beban yang berubah-ubah secara dinamis menghasilkan arus reaktif yang menimbulkan perbedaan antara daya aktif dan daya semu. Selain itu, penggunaan kapasitor bank dengan *turned reactor* terhadap faktor daya menghasilkan arus reaktif yang mengakibatkan beban berlebih pada jaringan distribusi listrik, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem energi dan bahkan kegagalan peralatan. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai faktor daya maksimal sebesar -0,7945 VA. Hasil pengukuran daya reaktif (Q) secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 9.



Gambar 11. Grafik Total Hasil Pengukuran Faktor Daya (PF)

Tabel 9. Total Hasil Pengukuran Faktor Daya (Q)

| Kode | Jumlah Faktor Daya (VA) | | |
|--------------|-------------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| L1 - L2 - L3 | -0,7945 | -0,8937 | -0,8339 |

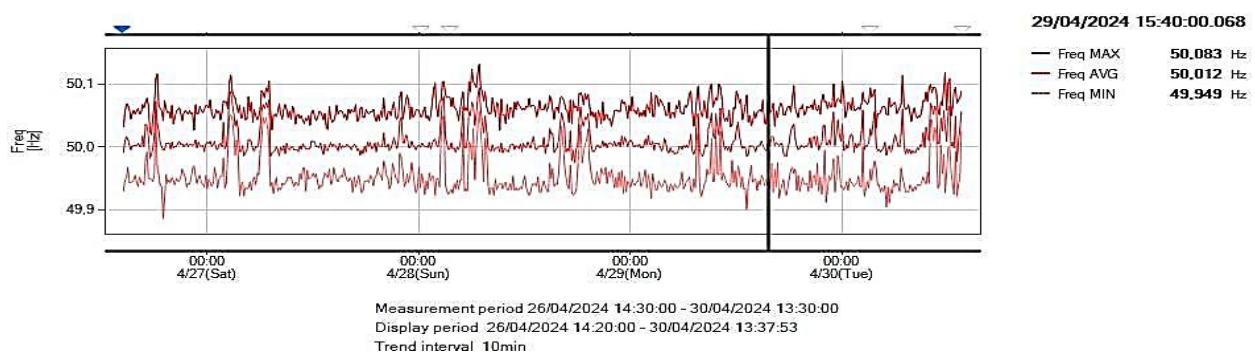
3.3. Hasil Analisis Pengukuran Frekuensi

Sistem kelistrikan komersial harus mengacu pada arus atau tegangan dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar yaitu 50 Hz (60 Hz), untuk itu perlu dikaji berapa nilai frekuensi yang terjadi. Berikut hasil pengukuran frekuensi diperlihatkan pada Gambar 12.

Gambar 12 menunjukkan hasil pengukuran frekuensi gelombang penggunaan kapasitor bank dengan *turned reactor* pada setiap fasa dapat memenuhi batas izin standar IEC 6100-2-1-1990 (50Hz) yaitu rata-rata sebesar 50,012 Hz. Lebih jelas data hasil pengukuran frekuensi gelombang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengukuran Frekuensi (Hz)

| Kode | Jumlah Frekuensi (Hz) | | |
|----------------|-----------------------|---------|-----------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata |
| Frekuensi (Hz) | 50,083 | 49,949 | 50,012 |



Gambar 12. Grafik Hasil Pengukuran Frekuensi (Hz)

Tabel 10 menunjukkan hasil pengukuran secara keseluruhan terhadap frekuensi gelombang dalam batas izin standar IEC dengan nilai maximal sebesar 50,083 Hz, nilai minimal sebesar 49,949 Hz dan nilai rata-rata sebesar 50,12 Hz.

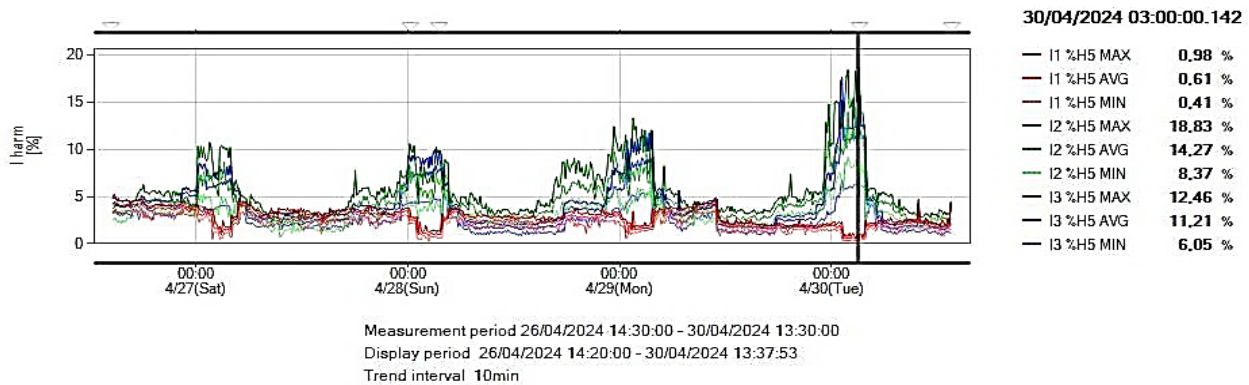
3.4. Hasil Analisis Total Harmonic Distortion (THD)

3.4.1. Hasil Analisis Pengukuran THD_I

Tujuan pengukuran THD_I adalah untuk mengidentifikasi nilai pengaruh beban nonlinear dengan penggunaan kapasitor bank dan *turned reactor* terhadap dampak harmonik. Hasil pengukuran spektrum harmonik arus (THD_I) diperlihatkan pada Gambar 13.

Tabel 11. Hasil Pengukuran Harmonik Arus (THD_I)

| Kode | Jumlah THD _I (%) | | | Standar IEEE (%) | Keterangan |
|------|-----------------------------|---------|-----------|------------------|--------------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata | | |
| L1 | 0,98 | 0,41 | 0,61 | 15 | Memenuhi |
| L2 | 18,83 | 8,37 | 14,27 | 15 | Tidak sesuai |
| L3 | 12,46 | 6,05 | 11,21 | 15 | Memenuhi |



Gambar 13. Grafik Hasil Pengukuran Spektrum Harmonik Arus (THD_I)

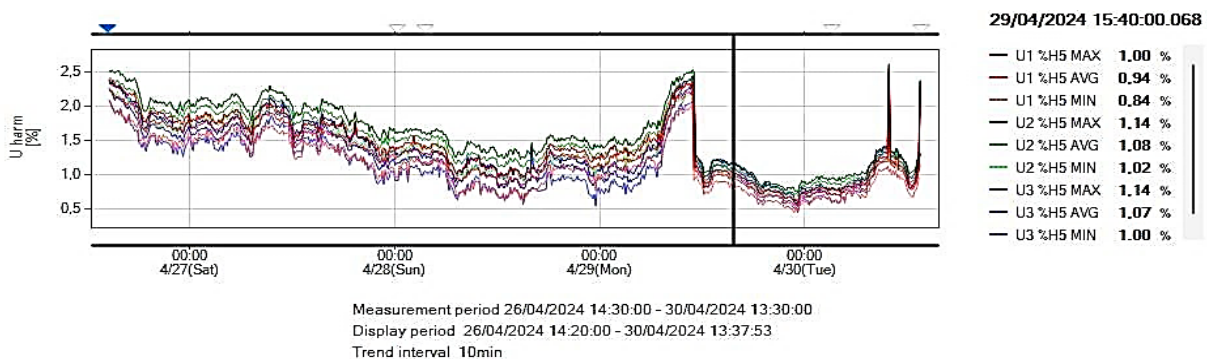
Gambar 13 memperlihatkan trend grafik hasil pengukuran spektrum harmonik arus (THD_I) selama pengamatan mengalami fluktuasi dimana perbedaan arus harmonik pada setiap fasa. Penggunaan kapasitor bank dengan *turned reactor* di Gedung tidak memiliki nilai yang signifikan, hal ini dibuktikan adanya ketidakseimbangan pada sistem jaringan listrik yang mengakibatkan peningkatan pada fasa L2 (S) berwarna hijau sebesar 18,83%, diikuti fasa L3 (T) sebesar 12,46% berwarna biru dan fasa L1 (R) pada posisi terendah sebesar 0,98% berwarna merah. Tabel 11 menunjukkan nilai THD_I telah mengalami fluktuasi tetapi pada nilai pengukuran harmonik arus pada fasa L1 (R), dan L3 (T) masih lebih rendah dari nilai batas izin berdasarkan standar IEEE 519-1992, namun pada fasa L2 (S) memiliki nilai ukur sebesar 18,83% melebihi batas izin sesuai standar IEEE 519-1992 yaitu $\leq 15\%$.

3.4.2. Hasil Analisis Total Harmonic Distortion Voltage (THD_V)

Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui seberapa besar distorsi tegangan yang disebabkan oleh harmonik. Hasil pengukuran spektrum harmonik tegangan (THD_V) diperlihatkan pada Gambar 14.

Gambar 14 menunjukkan bahwa trend grafik hasil pengukuran THD_V memiliki nilai fluktuasi pada setiap fasa dengan nilai maximal pada fasa L2 (S) berwarna hijau sebesar 1,14%, diikuti fasa L3 (T) berwarna biru sebesar 1,14% dan terendah pada fasa L1 (R) berwarna merah sebesar 1%. Pengaruh penggunaan kapasitor bank dengan *turned reactor* memberikan dampak signifikan untuk mencegah *overload* pada trafo dan mengoptimalkan daya yang terpasang. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil pengukuran, terjadi peningkatan lonjakan tegangan pada tanggal 29 April 2024 yang diakibatkan oleh banyaknya beban dari penggunaan perangkat elektronik di gedung tersebut dibandingkan tanggal sebelumnya. Hasil pengukuran spektrum harmonik tegangan (THD_V) ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12 menunjukan bahwa hasil pengukuran THD_V mengalami perbedaan nilai tegangan disetiap fasa. Untuk nilai THD_V tertinggi pada fasa L2 (S) dengan nilai maximal sebesar 1,14 %, minimal 1,08 % dan rata-rata 1,08 %, diikuti pada fasa L2 (T). Sedangkan nilai THD_V terendah pada fasa L1 (R) dengan nilai maximal sebesar 1%, nilai minimal sebesar 0,84% dan nilai rata-rata sebesar 0,94%. Berdasarkan hasil pengukuran THD_V dapat memenuhi batas izin standar IEEE No. 519-1992 yaitu $\leq 5\%$.



Gambar 14. Grafik Hasil Pengukuran Spektrum Harmonik Tegangan (THD_V)

Tabel 12. Hasil Perhitungan Spektrum Harmonik Tegangan (THD_V)

| Kode | Jumlah THD _I (%) | | | Standar IEEE (%) | Keterangan |
|------|-----------------------------|---------|-----------|------------------|------------|
| | Maximal | Minimal | Rata-rata | | |
| L1 | 1 | 0,84 | 0,94 | 5 | Memenuhi |
| L2 | 1,14 | 1,02 | 1,08 | 5 | Memenuhi |
| L3 | 1,14 | 1 | 1,07 | 5 | Memenuhi |

3.5. Rekapitulasi Hasil Penelitian

Tabel 13. Rekapitulasi Analisis Hasil Penelitian

| No | Parameter | HASIL | | Standar Acuan | Lulus | | Standar |
|--------------------|------------------------|---------|-----------|---------------|-------|-------|--|
| | | Maximal | Rata-rata | | Ya | Tidak | |
| A ARUS | | | | | | | |
| 1 | Fasa R (A) | 168,22 | 132,01 | ≤ 2309,04 A | ü | | 100% of Full Load Full Load = 2309,04 A |
| 2 | Fasa S (A) | 114,18 | 85,53 | ≤ 2309,04 A | ü | | |
| 3 | Fasa T (A) | 106,74 | 78,57 | ≤ 2309,04 A | ü | | |
| B TEGANGAN | | | | | | | |
| 1 | Fasa R-N (V) | 235,59 | 235,06 | ± 10% | ü | | SPLN-1:1995 |
| 2 | Fasa S-N (V) | 238,34 | 237,71 | ± 10% | ü | | |
| 3 | Fasa T-N (V) | 236,54 | 235,82 | ± 10% | ü | | |
| C DAYA | | | | | | | |
| 1 | Daya Semu (S, KVA) | 92,01 | 69,54 | ≤ 3500 KVA | ü | | 100% of Full Load 85% of Apparent Power |
| 2 | Daya Aktif (P, KW) | -47,50 | -58,10 | | ü | | |
| 3 | Daya Reaktif (Q, KVAR) | -34,35 | -37,87 | | | ü | |
| 4 | Faktor Daya (PF, %) | -0,7945 | -0,8339 | ≥ 85% | | ü | |
| D FREKUENSI | | | | | | | |
| 1 | Frekuensi (Hz) | 50,083 | 50,012 | ± 0,3 Hz | ü | | IEC |
| E THD-V | | | | | | | |
| 1 | Fasa R (%) | 1 | 0,94 | ≤ 5% | ü | | IEEE, 519-1992 |
| 2 | Fasa S (%) | 1,14 | 1,08 | ≤ 5% | ü | | |
| 3 | Fasa T (%) | 1,14 | 1,07 | ≤ 5% | ü | | |
| F THD-I | | | | | | | |
| 1 | Fasa R (%) | 0,98 | 0,61 | ≤ 5% | ü | | IEEE, 519-1992 |
| 2 | Fasa S (%) | 18,83 | 14,27 | ≤ 5% | | ü | |
| 3 | Fasa T (%) | 12,46 | 11,21 | ≤ 5% | ü | | |

Dampak beban nonlinear pada suatu sistem jaringan kelistrikan perlu dilakukan pengecekan secara rutin dan kontinu untuk menghindari distorsi harmonik yang dampaknya dapat merugikan baik kerusakan pada peralatan berbasis elektronika maupun finansial, bahkan terjadi ledakan [15]. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dampak dari distorsi harmonik yang terjadi pada Gedung Atria Residences Gading Serpong dengan penggunaan kapasitor bank dan *turned reactor* sebagai filter harmonik. Berikut hasil rekapitulasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 menunjukkan bahwa kondisi sistem jaringan kelistrikan Gedung Atria Residences Gading Serpong dengan penggunaan kapasitor bank dan *tuned reactor* mengalami gangguan harmonik. Hasil pengukuran harmonik arus dan tegangan terjadi perbedaan pada setiap fasa yang cukup signifikan. Nilai harmonik arus tertinggi pada fasa L1 (R) sebesar 168,22 A dan harmonik tegangan pada fasa S sebesar 238,34 V. Pengaruh beban linier menyebabkan distorsi gelombang arus membentuk gelombang tidak lagi berbentuk sinusoidal murni, sehingga berdampak pada timbulnya frekuensi harmonik ganjil. Hal

ini dibuktikan pada hasil pengukuran dari nilai segitiga daya, Dimana nilai daya semu sebesar 92,01 VA, daya aktif sebesar -47,50 W, daya reaktif sebesar -34,50 VAR dan faktor daya memiliki nilai sebesar -0,7945%. Jika faktor daya semakin rendah nilainya, menunjukkan bahwa perangkat listrik tidak memanfaatkan sebagian besar energi yang diberikan oleh sumber. Sehingga hasil pengukuran faktor daya tidak memenuhi standar SPLN (85%). Hal lainnya adalah pada hasil pengukuran distorsi total harmonik arus (THD_I) tidak memenuhi batas izin IEEE No. 519-1992 (≤15%) pada fasa L2 (S) yaitu sebesar 18,83%.

Namun pada hasil pengukuran frekuensi gelombang dapat memenuhi batas izin standar IEC dengan nilai rata-rata sebesar 50,012 Hz disetiap fasa. Untuk nilai distorsi total harmonik arus (THD_I) pada fasa L1 (R) dan L3 (T) dapat memenuhi batas izin standar IEEE No. 519-1992 yaitu ≤15%, dan distorsi total harmonik tegangan (THD_V) dapat memenuhi batas izin standar IEEE No. 519-1992 yaitu 5% pada setiap fasa dengan nilai tertinggi pada fasa L2 (S) yaitu sebesar 1,14 %.

4. Kesimpulan

Penggunaan perangkat berbasis elektronik suatu gedung, menjadi akar permasalahan sebagai beban nonlinear dengan timbulnya distorsi harmonik yang dapat mengganggu peralatan elektronik. Untuk meminimalisir dampak kerusakan teknis dan kerugian finansial dapat menggunakan kapasitor bank dengan *tuned reactor* pada sistem distribusi radial. Objektif fungsinya adalah untuk memaksimalkan penghematan tidak hanya energi pengurangan kerugian dan biaya pemasangan tetapi juga biaya peningkatan keandalan. Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa nilai THD_I mendekati batas standar

pada fasa T dan melewati standar pada fasa S dimana dari hasil pengukuran standar didapat range yang diperbolehkan adalah sebesar 15% sedangkan hasil yang didapat dari pengukuran sudah mendekati standar. Sedangkan nilai THD_V dapat memenuhi batas izin standar IEEE No. 519-1992 yaitu 5%. Untuk nilai faktor daya, batas standar yang diperbolehkan yaitu $\geq 0,85$, sedangkan yang terukur yaitu kisaran -0,6 hingga -0,9. Berdasarkan hasil penelitian penggunaan kapasitor bank dengan *tuned reactor* belum menunjukkan hasil yang signifikan, disarankan untuk menggunakan alat Static Var Generator dengan rating 600kVar dengan kondisi *Power Factor* terukur. untuk mengatasi permasalahan *Voltage Swell*.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami ucapkan kepada pimpinan dan seluruh jajaran staf Gedung Atria Residences Gading Serpong yang telah memberikan kesempatan dan memberikan data serta informasi terkait penelitian ini. Terima kasih juga kepada seluruh dosen pengajar dan dosen pembimbing Universitas Kristen Indonesia yang telah meluangkan waktu serta memberikan ilmu yang bermanfaat.

Referensi

[1]. M. A. Adi Sutopo, Mustamam, "Analisis Gangguan Kualitas Daya Sistem Tenaga Listrik Di Universitas Negeri Medan," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 20, no. 1, 2018, pp. 1–6.

[2]. R. Sinambela, "Maintenance Scorecard Approach And Analytical Hierarchy Process Method For Determining The Weight Of The Key Performance Indicator," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 209, no. 4, pp. 1–3, 2023, doi: 10.14710/transient.v9i4.526-531.

[3]. A. K. Wardhany, D. Monika, and L. Gumilar, "Penerapan IEEE 519-2014 Terhadap Identifikasi Distorsi Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa," *J. Tek. Elektro J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, 2022, pp. 1–10.

[4]. G. F. M. Anu and Fernandez, "Identification of Harmonic Injection and Distortion Power at Customer Location," *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, vol. July, no. 4, 2020, pp. 1–10, doi: 10.1109/ICHQP46026.2020.9177869.

[5]. IEEE, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2009, no. June. 2009. doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5154067.

[6]. L. Septya Mahendra, M. Rizani Rusli, M. Nizar Habibi, and A. Firyal Adila, "Analisa Pengaruh Kapasitor Bank dan Detuned Reactor Sebagai Perbaikan Faktor Daya Listrik 3 Fasa untuk Beban-beban Induktif," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 09, no. 02, 2023, pp. 6–12.

[7]. R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Di PT. Malindo Karya Lestari," *J. Tek.*, vol. 15, no. 2, 2020, pp. 85–93, doi: 10.18196/agr.6101.

[8]. I. K. S. A. Putra, I. M. Suartika, and I. W. Rinas, "Analisa Pemasangan Kapasitor Untuk Meningkatkan Faktor Daya Pada Trafo Di Hotel Bali," *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, 2020, pp. 97–101.

[9]. Yakob Liklikwatil, "Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Motor Induksi Dan Jaringan Listrik," *J. Isu Teknol. STT Mandala*, vol. 14, no. 2, 2019, pp. 46–50.

[10]. R. P. Deshpande, *Capacitors*. McGraw Hill Professiona, 2014.

[11]. IEEE 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System.", 1993, pp. 1–100.

[12]. C. Cekdin and T. Barlian., *Rangkaian Listrik*, 1st ed. Indonesia: Andi, 2013.

[13]. H. P. Ahmad Zhafran, Aripin Triyanto, "Analisa Pengaruh Nilai Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya Pada Gedung Treasury Tower," *Semin. Ris. Mahasiswa-Computer Electr. (SERIMA-CE)*, vol. 1, no. 1, 2023.

[14]. J. C. Andreas and A. Emadi, *Energy-Efficient Electric Motors*, 3rd ed. New York: Taylor & Francis, 2005.

[15]. Z. W. Ramli, S. Handoko, and A. A. Zahra, "Analisis Dan Perancangan Mitigasi Harmonik Tegangan Dan Arus Di Poltekkes Kemenkes Semarang," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 312–318, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i2.312-318.