

Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT PLN Jakarta

Tony Koerniawan¹; Aas Wasri Hasanah²
^{1,2}Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN
¹tonykoerniawan84@gmail.com

ABSTRACT

Harmonic is produced by non-linear loads in electrical system. The using of non-linear loads in utility system increaces harmonics in the result sinusoidal waveform of current and voltage can not occur. A harmonic filter is expected to decrease harmonic in STT PLN electricity consumption which have current and voltage of harmonic distortion on the threeth. Therefore we need a filter that can reduce the impact of harmonics that occur so as to provide better power quality.

Keywords: *Harmonic is produced, harmonic filter*

ABSTRAK

Kandungan harmonisa disebabkan karena adanya beban non-linear pada sistem kelistrikan. Banyaknya penggunaan beban non-linear ini membuat kandungan harmonisa semakin besar, akibatnya gelombang sinusoidal murni pada arus atau tegangan di sistem kelistrikan tidak bisa terjadi. Sebuah filter harmonisa diharapkan mampu menekan kandungan harmonisa pada beban pemakaian tenaga listrik STT PLN Jakarta yang memiliki distorsi harmonisa arus dan tegangan pada orde ke-3 sehingga efek negatif akibat adanya kandungan harmonisa dapat dikurangi. Oleh karena itu diperlukan suatu filter yang dapat menekan dampak harmonisa yang terjadi sehingga memberikan kualitas daya yang lebih baik.

Kata kunci: *Kandungan harmonisa, Filter Harmonisa*

1. PENDAHULUAN

Salah satu penyebab yang membuat kualitas daya menurun adalah harmonisa. Harmonisa disebabkan oleh beban yang tidak seimbang pada peralatan elektronik yang di dalamnya terdapat komponen semikonduktor. Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban *linear* dan beban *non-linear*. Beban *linear* merupakan beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran *linear* dimana arus yang mengalir akan sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, beban *linear* ini bersifat pasif, dimana tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik dalam kehidupan sehari-hari contohnya elemen pemanas dan lampu pijar.

Oleh karena itu perlu dipasang alat penekan harmonisa seperti *filter* harmonisa pada peralatan atau bagian yang menimbulkan harmonisa. Namun karena harganya yang relatif mahal maka alat ini harus dipasang tepat dititik beban yang menjadi sumber harmonisa atau memiliki kandungan harmonisa yang tinggi. Dalam dunia perkuliahan khususnya di kampus STT PLN yang merupakan kampus teknik banyak ditemukan beban *non-linear* berupa motor listrik, *inverter*, *rectifier* dan sebagainya. Oleh karena itu diperlukan suatu perhitungan dan analisa untuk menentukan besar kapasitas dari *filter* harmonisa yang akan dipasang. Pada penelitian ini akan membahas mengenai upaya penekanan kandungan harmonisa pada pemakaian tenaga listrik gedung STT PLN Jakarta.

1.1. Harmonisa

Harmonisa adalah gejala terdistorsinya gelombang sinusoidal arus maupun tegangan pada sistem tenaga listrik. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada gelombang aslinya, sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Apabila frekuensi dasar digunakan suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz maka gelombang harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi $2 \times 50 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$, gelombang harmonisa ketiga mempunyai frekuensi $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$ dan seterusnya. Jika frekuensi (f) adalah frekuensi normal dari suatu sistem, maka frekuensi orde n (1, 2, 3... n) adalah $n.f$ atau faktor kelipatan dari frekuensi normal.

1.2. Distorsi Akibat Harmonisa

Gelombang arus yang mengandung komponen harmonisa disebut arus yang terdistorsi. Kandungan harmonisa gelombang arus dan tegangan dapat dinyatakan dalam suatu ukuran yang umum dipakai yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*). Nilai THD diperoleh dari perbandingan nilai rms semua komponen harmonisa selain fundamental terhadap nilai rms komponen fundamental. Besar THD (*Total Harmonic Distortion*) dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

THD = *Total Harmonic Distortion* (%)

M_n = Nilai RMS Dari Arus atau Tegangan Harmonisa ke- n

M_1 = Nilai RMS Dari Arus atau Tegangan Pada Frekuensi Dasar (fundamental)

Total Harmonic Distortion (THD) didefinisikan sebagai perbandingan nilai rms komponen harmonisa terhadap komponen dasar (fundamental) dan biasanya dinyatakan dalam %. Indeks ini digunakan untuk mengukur penyimpangan dari bentuk gelombang satu periode yang mengandung harmonisa pada gelombang sinusoidal sempurna. Untuk satu gelombang arus sempurna pada frekuensi dasar (fundamental) THDnya adalah nol.

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

Keterangan :

V_n = Tegangan Harmonik *Orde* ke-n

V_1 = Tegangan Fundamental (V_{rms})

$n = 2 - \infty$

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

Keterangan :

I_n = Arus Harmonik *Orde* ke-n

I_1 = Arus Fundamenta (I_{rms})

$n = 2 - \infty$

1.3. Batas Aman Harmonisa

Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisa distorsi harmonisa, pembatasan untuk distorsi arus harmonisa dan pembatasan untuk distorsi tegangan harmonisa. Acuan yang digunakan untuk pembatasan tegangan harmonisa adalah IEEE 519-1992. Untuk batas harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L .

Tabel 1. Batas Minimal Distorsi Harmonisa Tegangan

Maximum Distortion (%)	System Voltage		
	$V \leq 69kV$	$69 < V < 138kV$	$V > 138kV$
Individual Harmonic	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic	5.0	2.5	1.5

Sumber : IEEE 519-1992

Tabel 2. Batas Distorsi Harmonisa Arus

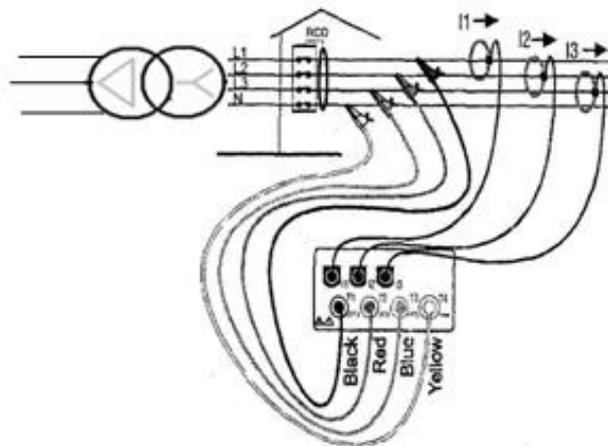
<i>Maximum Harmonic Current Distortion In % of Fundamental</i>						
I_{sc}/I_{load}	<i>Harmonic Orde</i>					THD ₁ (%)
	<11	$11 \leq h < 17$	$17h \leq h < 17$	$23h \leq h < 35$	$35 \leq$	
	<i>Individual Harmonic Distortion (IHD %)</i>					
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20

Sumber : IEEE 519-1992

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rangkaian Pengukuran

Pengumpulan data yang dilakukan untuk penulisan penelitian ini adalah dengan cara pengukuran secara langsung di dalam gardu distribusi STT PLN Jakarta, dengan skema rangkaian pengukuran seperti gambar di bawah ini.

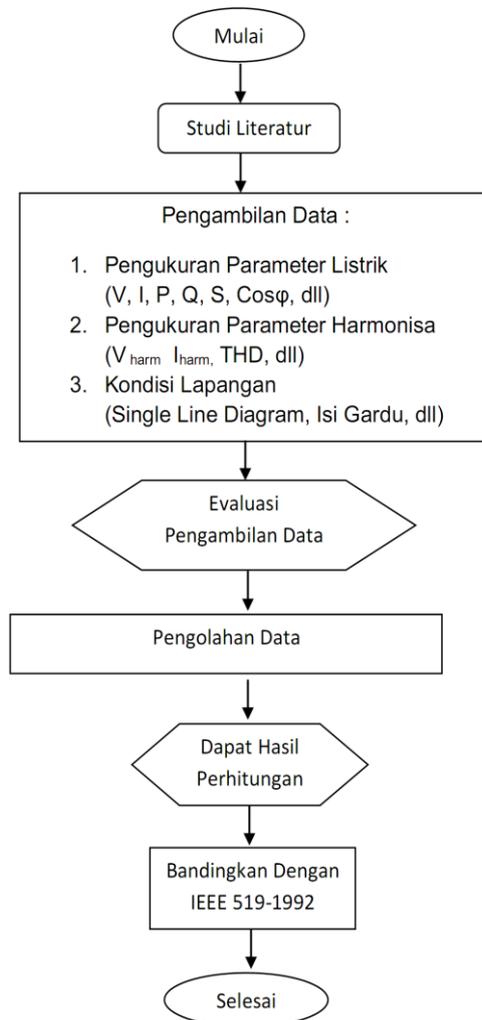
**Gambar 1.** Rangkaian Pengukuran

2.2. Alat Pengukuran

Alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data penelitian ini adalah *Power Quality Analyzer* DM III Multitest. Alat ukur ini digunakan untuk mengukur besarnya tegangan, arus, daya, *power factor* dan tingkat kandungan harmonisa. Pada gambar berikut ini merupakan alat ukur *Power Quality Analyzer* DM III Multitest.

2.3. Teknik Analisis Diagram Alir Pengambilan Data

Untuk teknik analisis dalam pengambilan data dijelaskan pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Hasil Data dan Pengukuran

Pengumpulan data yang dilakukan untuk penulisan penelitian ini adalah dengan cara pengukuran secara langsung di dalam gardu distribusi STT PLN Jakarta. Data-data yang didapat diantaranya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Daya Aktif, Reaktif dan Semu

Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVar)	Daya Semu (kVA)
227,541	127,056	261,548

Tabel 4. Parameter Hasil Ukur

%Z Trafo (%)	5
S_{Trafo} (VA)	125000000
F_{fund} (Hz)	50
Q_f	50
$V_{3\phi}$ (Volt)	400
S (VA)	1219659
$\text{Cos } \phi$	0,86 lag

2.2. Hasil Data Kandungan Harmonisa

Data kandungan yang diukur dengan alat *Power Quality Analyzer* DM III Multitest meliputi harmonisa tegangan dan arus tiap fasa R, S, dan T

Tabel 5. Hasil Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Fasa R, S, T

Pengukuran							
Tegangan (V)				Arus (A)			
Orde / f	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Orde / f	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1 / 50	224,9	226,2	225,5	1 / 50	198,6	509,5	467,7
2 / 100	0,2	0,1	0,3	2 / 100	0,6	1,1	2,7
3 / 150	1,0	0,6	0,7	3 / 150	8,4	17,6	17,9
4 / 200	0,1	0,1	0,1	4 / 200	0,1	0,5	0,2
5 / 250	1,0	1,4	1,6	5 / 250	6,3	14,0	14,6
6 / 300	0,0	0,0	0,0	6 / 300	0,1	0,3	0,3
7 / 350	1,9	2,0	2,1	7 / 350	3,4	7,8	9,7
8 / 400	0,0	0,1	0,0	8 / 400	0,1	0,3	0,2
9 / 450	1,2	0,9	1,1	9 / 450	2,9	10,8	12,6

Dapat dilihat pengukuran kandungan harmonisa arus untuk tiap fasanya R, S, dan T, untuk kandungan harmonisa orde ke-3 yang lebih dominan dari pada orde yang lain tidak terlalu besar dan hampir tidak terjadi perubahan. Sehingga perlu dilakukan penekanan kandungan harmonisa yang terjadi, maka dipilih fiilter pasif. Berikut ini hasil perhitungan THD tegangan dan THD arus untuk tiap fasanya pada saat beban puncak:

Tabel 6. Hasil Perhitungan THD_v dan THD_i Fasa R, S, T

Fasa	THD _v (%)	THD _i (%)
R	1,18	5,7
S	1,01	5,13
T	1,26	5,15

Dari pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan, bahwa THD_v yang terjadi masih berada dalam batas standar yang telah ditentukan yaitu sebesar 5% untuk tegangan kerja ≤ 69 kV.

Dikarenakan *filter* harmonisa berkaitan erat dengan arus, maka THD total yang dijadikan referensi turun atau tidaknya akibat penggunaan *filter* harmonisa adalah total dari THD_i dari pengukuran. Berdasarkan IEEE 519-1992 batas maksimum harmonisa arus pada sistem adalah sebesar 12%, hal ini dapat diketahui dari perhitungan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 S_{sc} &= \frac{100\%}{\%Z} \times S_{Trafo} & I_L &= \frac{S \times P_f}{P_f \times V} \\
 &= \frac{100\%}{5\%} \times 1.250.000 \text{ VA} & &= \frac{1219659 \text{ VA} \times 0,86}{0,86 \times 400 \text{ V}} \\
 &= 25.000.000 \text{ VA} & &= 3,049 \text{ kA} \\
 \text{Std THD}_i &= \frac{I_{sc}}{I_L} & I_{sc} &= \frac{S_{sc}}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{36,084}{3,04} & &= \frac{25.000.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ VA}} \\
 &= 11,83 & &= 36,084 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Dari pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa THD_i telah melebihi batas standar yang telah diijinkan yaitu 5% untuk $I_{sc}/I_L < 20$. Dengan demikian maka arus dari harmonik tersebut harus diturunkan, dengan tujuan agar tidak mengganggu fungsi kerja dari beban tersebut dan tidak menimbulkan efek lainnya.

Pada perhitungan selanjutnya akan menjelaskan perhitungan untuk menentukan parameter *filter* harmonisa untuk orde ke-3. Setelah menentukan orde harmonisa yang akan diredam, tahap selanjutnya adalah menentukan besarnya kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan oleh sistem. Berikut adalah penentuan besarnya kompensasi daya reaktif:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= S \times \sin(\cos^{-1} \phi_1) \\
 &= 1219659 \text{ VA} \times \sin(30,683) \\
 &= 622377,0739 \text{ VAR} \\
 &= 622,377 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan ini faktor daya yang awalnya 0,86 akan dinaikkan menjadi 0,98, dengan tujuan memperbaiki faktor daya dan mencari daya reaktif minimum yang dibutuhkan untuk mengurangi kandungan harmonisa:

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= S \times \sin(\cos^{-1} \varphi_2) \\
 &= 1219659 \text{ VA} \times \sin(11,478) \\
 &= 242701,9637 \text{ VAr} \\
 &= 242,701 \text{ kVAr}
 \end{aligned}$$

Maka kompensasi yang dibutuhkan dari *filter* adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta Q &= Q_1 - Q_2 \\
 &= 622,377 - 242,701 \text{ kVAr} \\
 &= 379,676 \text{ kVAr} \\
 &= 379676 \text{ VAr}
 \end{aligned}$$

Setelah daya reaktif yang diperlukan sudah didapat, perhitungan selanjutnya adalah mencari impedansi *filter*.

$$\begin{aligned}
 X_{filter} &= \frac{kv^2(1000)}{Q_{komp}} \\
 &= \frac{0,4^2 \text{ kV} (1000)}{379676 \text{ VAr}} \\
 &= 0,4214 \Omega
 \end{aligned}$$

Untuk *orde* ke-3 (150), maka dapat dilakukan perhitungan komponen kapasitor penyusun *filter* sebagai berikut:

$$X_{Cap} = \frac{X_{filter} \times h^2}{h^2 - 1}$$

Nilai *setting* yang digunakan untuk menghasilkan frekuensi resonansi antara 125-135 Hz yaitu 2,5 - 2,7. Pemilihan nilai *setting* di bawah frekuensi harmonisa adalah untuk menyediakan range yang aman jika terjadi perubahan pada parameter sistem.

$$X_{Cap} = \frac{0,4214 \Omega \times (2,7)^2}{(2,7)^2 - 1} = 0,4883 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 \text{kVAr} &= \frac{kV^2 \times (1000)}{X_{Cap}} \\
 &= \frac{0,4^2 \times (1000)}{0,4883} \\
 &= 327,667 \text{ kVAr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{2\pi f X_{Cap}} \\
 &= \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 0,4883} \\
 &= 6,522 \text{ mF}
 \end{aligned}$$

Besarnya impedansi dari induktor penyusun *filter* harmonisa ke-3 dicari melalui perhitungan :

$$\begin{aligned}
 X_L &= \frac{X_{Cap}}{h^2} & L &= \frac{X_L}{2\pi f} \\
 &= \frac{0,4883 \Omega}{2,7 \times 2,7} & &= \frac{0,06698 \Omega}{2 \times \pi \times 50} \\
 &= 0,06698 \Omega & &= 0,2132 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

$$X_3 = \sqrt{X_L X_{Cap}} = \sqrt{0,06698 \Omega \times 0,4883 \Omega} = 0,1808 \Omega$$

$$R = \frac{X_3}{Q_f} = \frac{0,1808 \Omega}{50} = 3,616 \times 10^{-3} \Omega$$

Berdasarkan hasil perhitungan desain *filter* didapat bahwa dengan kombinasi $R = 3,616 \text{ m}\Omega$, $L = 0,2132 \text{ mH}$, $C = 6,522 \text{ mF}$.

3. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini, yaitu:

1. Dari hasil pengukuran dan perhitungan kandungan harmonisa tegangan dan harmonisa arus yang diukur melalui nilai THD tegangan dan THD arus masih memenuhi standar PLN yaitu 5 %.
 - a) THDv fasa R = 1,18 %, THDv fasa S = 1,01 %, THDv fasa T = 1,26 %
 - b) THDi fasa R = 5,7 %, THDi fasa S = 5,13 %, THDi fasa T = 5,15 %
2. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk perancangan *filter* pasif untuk penekanan kandungan harmonisa orde ke-3 adalah sebesar $R = 3,616 \text{ m}\Omega$, $L = 0,2132 \text{ mH}$, $C = 6,522 \text{ mF}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLN (Persero) Area Cengkareng. yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roger C.Dugan, et al. (2002). *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw Hill.
- [2] Rosa, Francisco.D.La. (2006). *Harmonics and Power Systems*. Missouri:Tailor and Francis.
- [3] Sik-Young dan Hanju. (2011). "Single-Tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances Of Tuning and Quality Factor". *Journal of International Council on Electrical Engineering*.1 (1), 7-12.
- [4] Soomro, D.M. dan Almelian, M.M. (2015). "Optimal Design Of A Single Tuned Passive Filter to Mitigate Harmonics In Power Frequency". *ARPN Journal of Engineering and applied sciences*. 10 (19), 909-9
- [5] Jurnal, R. (2019). Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah Dengan Menggunakan Simulasi Program Etap. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 26-37. <https://doi.org/10.33322/energi.v10i1.321>
- [6] Jurnal, R. (2019). Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT. PLN (Persero) Area Ciputat. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 70-77. <https://Doi.Org/10.33322/Energi.V10i1.330>

- [7] Siregar RR, Wardana N. Luqman. “Sistem Monitoring Kinerja Panel Listrik Tenaga Surya Menggunakan Arduino Uno.” *JETri J. Ilm. Tek. Elektro*. 2017;14(2):81-100.
- [8] Handayani, O., Darmana, T., & Widyastuti, C. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Penyaluran Listrik Antara Penghantar ACSR dan ACCC pada Sistem Transmisi 150kV. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 37 - 45. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.480>
- [9] Handayani, O., Darmana, T., & Widyastuti, C. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Penyaluran Listrik Antara Penghantar ACSR dan ACCC pada Sistem Transmisi 150kV. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 37 - 45. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.480>
- [10] Jurnal, R. (2018). Studi Analisis Gangguan Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah Dan Upaya Mengatasinya Di PLN Area Tanjung Priok. *Energi & Kelistrikan*, 9(1), 51-59. <https://doi.org/10.33322/Energi.V9i1.60>
- [11] Jurnal, R. (2019). Kajian Sistem Kinerja PLTS Off-Grid 1 Kwp Di STT PLN. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 38-44. <https://doi.org/10.33322/energi.v10i1.322>
- [12] Siregar, R. R. A., & Putri, D. R. (2017). Metode Support Vector Machine Pada Klasifikasi Audit Energi: Studi Kasus Gedung STT PLN Jakarta. *Jurnal Informatika dan Komputasi*, 8(2), 98-104.
- [13] Nisa, T. C., Siregar, R. R. A., & Suliyanti, W. N. (2019). Estimasi Daya Beban Listrik Pada Gardu Induk Cengkareng Dengan Menggunakan Metode TIME Series Model Dekomposisi. *TEKNOLOGIA*, 2(1)
- [14] Hasanah, A., Koerniawan, T., & Yuliansyah, Y. (2019). Kajian Ketelitian Current Transformer (CT) Terhadap Kesalahan Rasio Arus pada Pelanggan 197 kVA. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 9 - 16. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.390>
- [15] Hasanah, A., Hariyati, R., & Qosim, M. (2019). Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT PLN. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 17 - 26. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.394>