

Analisa Harmonik Gardu Listrik Kereta Layang *Automated People Mover System* (APMS) Bandara Soekarno - Hatta

Ari Wibowo¹, Khoirul Anam²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16424

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16424

E-mail : ari.jahadu@gmail.com

ABSTRAK

Kereta Layang *Automated People Mover System* (APMS) Bandara Soekarno – Hatta disuplai tegangan 750 VDC yang didalamnya terdapat komponen penyearah dari 12 *pulse*. Penyearah yang merupakan beban non linear ini dapat memproduksi harmonik yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan pada gardu traksi tersebut. Metode yang digunakan untuk meneliti dengan mengambil data parameter pada peralatan gardu traksi seperti kapasitas trafo, variasi beban dan data lainya dari single line diagram gardu traksi Kereta Layang APMS Bandara Soekarno - Hatta. Kemudian data diinput dalam Software ETAP 12.6. Hasil Simulasi menunjukkan bahwa Distorsi Total Harmonik (THD) melebihi standar IEEE 519 – 2014 yaitu melebihi batas 5 % untuk sistem catu daya $V \leq 1$ kV. Pemasangan filter pasif single tune orde 11,13,23 pada bus bar simulasi beban 20 % dan 40 % mampu mereduksi harmonisa beban 20% dari harmonisa 9,45 % menjadi 5,22% dan harmonisa beban 40% dari harmonisa 9,48 % menjadi 4,94%.

Kata Kunci

APMS, Harmonic, Rectifier, ETAP, Filter Pasif

1. PENDAHULUAN

Kereta Layang *Automated People Mover System* (APMS) Bandara Soekarno – Hatta merupakan transportasi alternatif yang menghubungkan terminal 1 – terminal 2 – terminal 3, kedepannya Kereta Layang *Automated People Mover System* (APMS) akan menggantikan transportasi *shuttle bus* dengan tujuan untuk mengurangi kemacetan.

Kereta Layang (APMS) Bandara Soekarno – Hatta disuplai dari jaringan tegangan menengah 20 kV PLN yang kemudian didistribusikan ke Listrik Aliran Bawah (*third rail*) melalui gardu traksi yang berada di Terminal 2. Suplai ke listrik aliran bawah dengan listrik arus searah 750 VDC, sehingga pada gardu tersebut harus dipasang penyearah (*converter*) 12 *pulse*. Namun beban penyearah yang merupakan beban non linear dapat menimbulkan dan tegangan harmonik dalam sistem catu daya.

Pada Gardu Traksi (APMS) Bandara Soekarno – Hatta, terdapat Transformator 20kV/0,5kV kapasitas 2 x 2230 kVA, penyearah 2 x 2000kW. Trafo dan penyearah digunakan untuk mensuplai kereta layang

melalui transmisi listrik aliran bawah dan peralatan *High Speed Circuit Breaker* (HSCB) digunakan sebagai pemutus beban antara penyearah dengan feeder listrik aliran bawah dengan rating 4000A, 750 VDC.

Beberapa penelitian harmonik akibat beban non linear pada gardu traksi perkeretaapian antara lain Analisa Harmonisa Akibat Pengaruh Penggunaan Converter pada Kereta Rel Listrik 1x25 kV Yogyakarta-Solo. Untuk mengatasi masalah harmonik yang terjadi pada sistem dipasang digunakan filter pasif single tuned. Pemasangan filter pasif ini dipasang pada bus beban converter dengan tujuan mereduksi harmonik orde 5 [1]. Penelitian yang lain mengatasi harmonik pada gardu listrik PT KAI Commuter Jabodetabek. Metode yang digunakan untuk mengatasinya diusulkan dipasang bank kapasitor dan filter fasif penala frekuensi tunggal harmonisa ke-11. Bank kapasitor dipasang pada busbar pertama dekat ke sumber tiga fasa PLN dan filter dipasang pada busbar berdekatan dengan transformator [2].

Dampak harmonik dalam jangka panjang dapat mengakibatkan malfungsi atau kerusakan pada trafo. Hal ini disebabkan fungsi trafo sebagai penyalur daya ke pusat beban yang letaknya berdekatan dengan beban

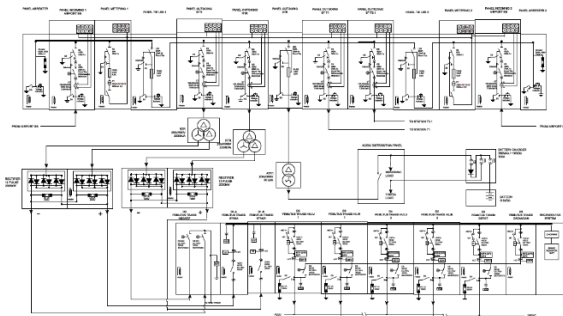
non linear sehingga paling terkena dampak harmonik[3].



Gambar 1. Kereta Layang (APMS) Bandara Soekarno – Hatta



Gambar 2. Third Rail dan lintasan LRV (Light Rail Vehicle)

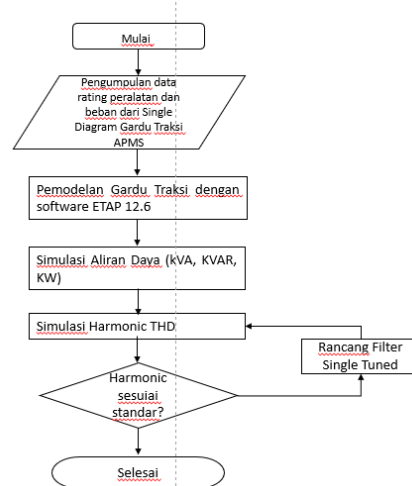


Gambar 3. Single Line Diagram Gardu Traksi APMS Bandara Soekarno - Hatta

2. METODE

2.1 Perancangan Pemodelan

Metode penelitian untuk mengetahui adanya harmonik pada Gardu Listrik Kereta Layang APMS Bandara Soekarno – Hatta dengan menggunakan data peralatan yang terdapat dalam Single Line Diagram Gardu Traksi Kereta Layang APMS Bandara Soekarno – Hatta, data tersebut digunakan sebagai parameter pemodelan simulasi dengan software ETAP 12.6.



Gambar 4. Alur Analisa Harmonik Gardu Traksi APMS Bandar Soekarno – Hatta

2.2 Standar Harmonic

Total Harmonic Distortion (THD) Merupakan perbandingan nilai rms antara nilai deviasi dari keseluruhan komponen harmonik dengan nilai fundamental. Sehingga dapat dirumuskan sebagai :

$$THD_V (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{n_{maks}} v_n^2}}{V_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD_I (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{n_{maks}} I_n^2}}{I_i} \times 100\% \quad (2)$$

dengan :

THDV = THD Tegangan [%]

THDI = THD Arus [%]

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mengatur batas maksimal dari harmonik yang dapat diterima untuk suatu sistem tenaga listrik. Standar tersebut tertuang dalam IEEE nomor 519-2014[4][5]. Berikut standar harmonik IEEE 519 – 2014 yang diterapkan pada sistem tenaga listrik :

Tabel 1. Standar 512 - 2014

| Voltage at PCC | Individual Component Voltage Distortion | Total Voltage Distortion (THD V _F) |
|------------------|---|--|
| V ≤ 1 kV | 5.0% | 8.0% |
| 1kV < V ≤ 69kV | 3.0% | 5.0% |
| 69kV < V ≤ 161kV | 1.5% | 2.5% |
| V ≤ 161kV | 1.0% | 1.50% |

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Simulasi Aliran Daya Gardu Traksi APMS Bandara Soekarno Hatta

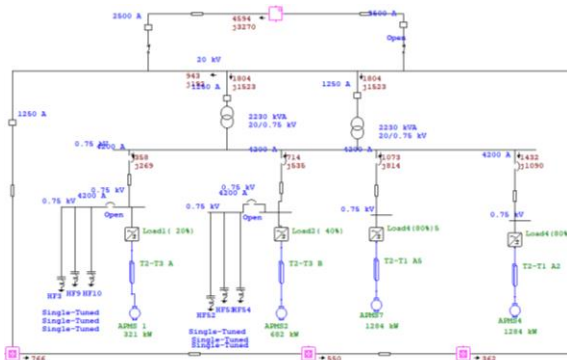
Simulasi Aliran Daya dengan ETAP 12.6 pada traksi KA Layang APMS Bandara Soekarno - Hatta menggunakan beban Silicon Rectifier (SR).

Simulasi aliran daya ini diperlukan untuk mendapatkan data konsumsi daya semu (kVA), daya nyata (kW), daya reaktif (kVAR) dan faktor daya (PF). Dalam analisis aliran daya ini dilakukan dengan memvariasikan beban 20%, 40 %, 60% dan 80% dari kapasitas trafo dari 2230 kVA (1 trafo 2230 sebagai cadangan), sehingga variasi pengukuran dapat dicapai mewakili sistem pemuatan gardu traksi yang sebenarnya.

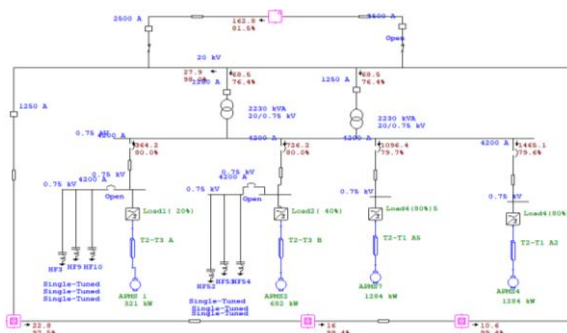
Variasi beban traksi sebagai berikut:

- Beban 20 % dari kapasitas trafo (447 kVA);
- Beban 40 % dari kapasitas trafo (892 kVA);
- Beban 60 % dari kapasitas trafo (1338 kVA);
- Beban 80 % dari kapasitas trafo (1784 kVA).

Setelah didapatkan variasi pembebanan, selanjutnya dapat dilakukan simulasi aliran daya sistem dengan dua simulasi, simulasi beban 20%, 80%, 40% dan 60%.



Gambar 5. Simulasi Aliran Daya Gardu Traksi APMS (kW, kVAR)



Gambar 6. Simulasi Aliran Daya Garu Traksi APM (kVA , A, Cos Θ)

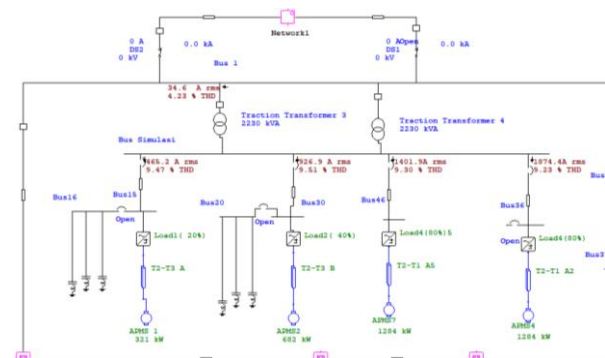
Berikut tabel hasil simulasi aliran daya Gardu Traksi APMS Bandara:

Tabel 2. Hasil Simulai Aliran Daya (Load Flow)

| Hasil Simulasi | Variasi Beban | | | |
|---------------------|---------------|-------|--------|--------|
| | 20% | 40% | 60% | 80% |
| daya nyata (kW) | 358 | 714 | 1070 | 1432 |
| daya reaktif (kVAR) | 269 | 535 | 803 | 1090 |
| Daya semu (kVA) | 447 | 892 | 1338 | 1800 |
| Current (A) | 363.5 | 724.3 | 1086.5 | 1462.3 |
| Voltage (V) | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Power Faktor (%) | 80 | 80 | 80 | 79.6 |

3.2 Simulasi Harmonik Gardu Traksi APMS Bandara Soekarno – Hatta

Simulasi harmonik pada Gardu Traksi APMS Bandara Soekarno – Hatta dengan memvariasi pola beban 20%, 40%, 60% dan 80 % dapat diperoleh data adanya harmonik pada Bus Traksi yang menyuplai beban Light Rail Vehicle (LRV) APMS. Berikut Gambar simulasi harmonik THDv Gardu Traksi APMS Bandara Soekarno – Hatta dengan menggunakan software ETAP 12.6.



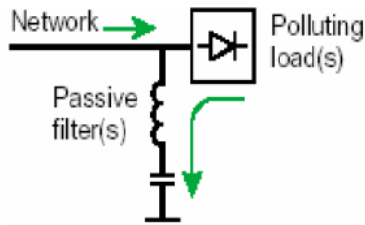
Gambar 7. Simulasi Harmonic Load Flow

Tabel 3 Hasil simulasi Total Harmonik Distorsi

| Variasi beban | Standar THD (THD) $V \leq 69$ kV | Total Voltage Distortion (THD) Bus Simulasi |
|---------------|----------------------------------|---|
| 20 % | 5,00% | 9,45 % |
| 40% | 5,00% | 9,48% |
| 60% | 5,00% | 9,49% |
| 80% | 5,00% | 9,22% |

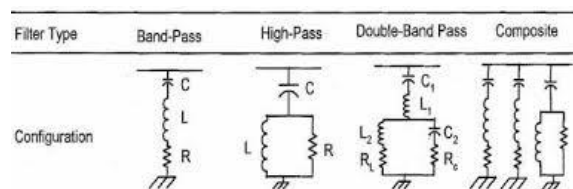
3.3 Perancangan Filter Pasif

Filter Pasif merupakan metode penyelesaian yang ekonomis untuk mengatasi harmonik. Berikut gambar filter pasif dalam rangkaian :



Gambar 8. Rangkaian Filter Pasif dalam Sistem

Filter pasif Sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem catu daya. Rangkaian Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat harmonisa pada sistem instalasi. Rangkaian Filter pasif terdiri dai komponen R, L, C[6].



Gambar 9. Jenis Filter Pasif

3.4 Perhitungan Filter Pasif

Untuk memperbaiki faktor daya dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut pada beban 20%, untuk peredaman 3 Individual Harmonik Terbesar (Orde 11, 13, 23).

$$I_L = 364,2 \text{ A};$$

$$S = 447 \text{ kVA}$$

Daya reaktif yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_1 = 269 \text{ kVAR}$$

$$\text{Power Faktor } (\theta_1) = 0,8$$

$$\text{Power Faktor } (\theta_2) = 0,9$$

$$Q_2 = S \times \sin[\cos^{-1}(0,9)] = 447 \times \sin(25,84) \\ = 195 \text{ kVAR}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = 269 - 195 = 74 \text{ kVAR}$$

$$Q = 195 + 269 = 464 \text{ kVAR}$$

Untuk menghitung reaktansi filter X_{Filter} :

$$X_{\text{Filter}} = \frac{(V_{LL})^2}{Q_c}$$

$$X_{\text{Filter}} = \frac{(0,75)^2 \times 1000}{74 \text{ kVAR}} = 7,6 \Omega$$

nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada pada tuning frekuensi 550 (orde harmonik 11) :

$$X_c = \left[\frac{h^2}{h^2 - 1} \right] \times X_{\text{Filter}}$$

$$X_c = \left[\frac{9,9^2}{9,9^2 - 1} \right] \times 7,6 = 7,67 \Omega$$

$$h = n - (n \times 10\%) = 11 - (11 \times 10\%) = 11 - 1,1 \\ = 9,9$$

Nilai capacitor :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2(\pi)(50\text{Hz})(7.67\Omega)} = 415,2 \mu\text{F}$$

Nilai capacitor

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{7,67}{9,9^2} = 0,09 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

Nilai Induktor (L)

$$L = \frac{0,09}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,000286 \text{ H}$$

$$= 286 \mu\text{H}$$

Nilai resistor (R) =

Quality factor (Q) untuk filter single tuned dipilih antara 30 dan 60. Dalam perancangan filter ini nilai dipilih 50. Sehingga nilai resistor adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{n \times X_L}{R}$$

$$R = \frac{n \times X_L}{Q}$$

$$R = \frac{11 \times 0,09}{50} = 0,02 \Omega$$

nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada pada tuning frekuensi 650Hz (orde harmonik 13):

$$h = 13 - (13 \times 10\%) = 13 - (13 \times 10\%) \\ = 13 - 1,3 = 11,7$$

$$X_c = \left[\frac{h^2}{h^2 - 1} \right] \times X_{\text{Filter}}$$

$$X_c = \left[\frac{13^2}{13^2 - 1} \right] \times 7,6 = 7,65 \Omega$$

Nilai capacitor :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2(\pi)(50\text{Hz})(7,65\Omega)} = 416,2 \mu\text{F}$$

Nilai capacitor

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{7,65}{11,7^2} = 0,063 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

Nilai Induktor (L)

$$L = \frac{0,063}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,00020 \text{ H}$$

$$= 200 \mu\text{H}$$

Nilai resistor (R) =

Quality factor (Q) untuk filter single tuned dipilih antara 30 dan 60. Dalam perancangan filter ini nilai dipilih 50. Sehingga nilai resistor adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{n \times X_L}{R}$$

$$R = \frac{n \times X_L}{Q}$$

$$R = \frac{13 \times 0,063}{50} = 0,0163\Omega$$

Berikut tabel spesifikasi filter hasil perhitungan spesifikasi filter:

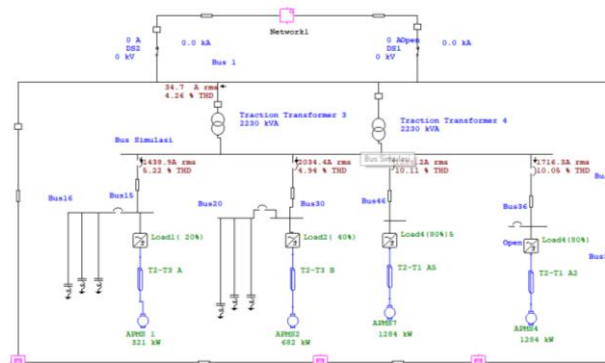
Tabel 4. Spesifikasi filter pasif single tune beban 40%

| Beban 20 % | Orde 11 | | | |
|------------|---------|-------|--------|--------|
| | XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) |
| | 7,67 | 0,09 | 415,2 | 286 |
| | Orde 13 | | | |
| XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) | |
| 7,65 | 0,063 | 416,2 | 200 | |
| Orde 23 | | | | |
| XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) | |
| 7,61 | 0,018 | 418 | 57,3 | |

Tabel 5. Spesifikasi filter pasif single tune beban 60%

| Beban 40 % | Orde 11 | | | |
|------------|---------|-------|--------|--------|
| | XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) |
| | 4,72 | 0,048 | 674 | 152 |
| | Orde 13 | | | |
| XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) | |
| 3,85 | 0,028 | 829 | 89 | |
| Orde 23 | | | | |
| XC (Ω) | XL(Ω) | C(μF) | L (μH) | |
| 3,83 | 0,0089 | 829,3 | 28,34 | |

Berikut hasil simulasi pemasangan filter pasif pada beban 20 % dan 40 % :

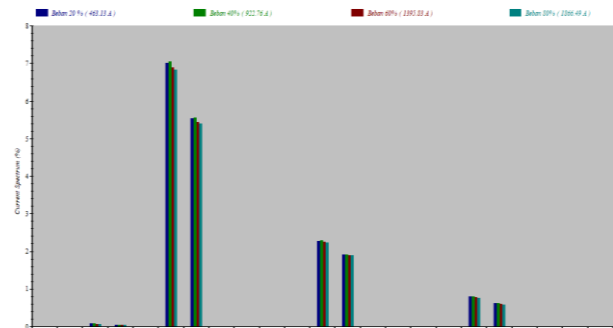


Gambar 10. Simulasi Filter pada beban 20% dan 40%

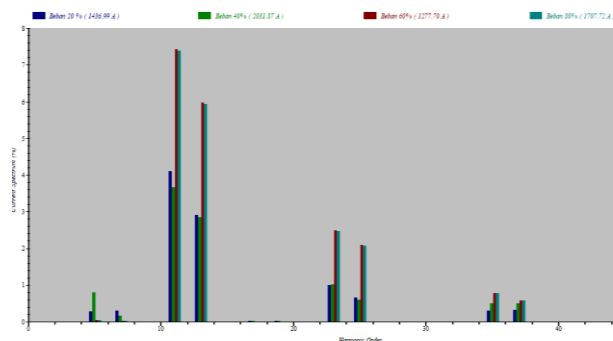
Berikut Tabel Simulasi Total Harmonic Distortion :

Tabel 5. Tabel Perbandingan THD sebelum dan sesudah filter pasif.

| Variasi beban | Standar THD (THD) V≤69 kV | Total Voltage Distortion (THD) Bus Simulasi |
|---------------|---------------------------|---|
| 20 % | 9,45 % | 5,22 |
| 40% | 9,48% | 4,94 |



Gambar 11. Harmonik pada beban 20%, 40%, 60% dan 80 %



Gambar 12. Harmonik pada beban 20% dan 40 % dengan filter, 60 % dan 80% tanpa filter

3. KESIMPULAN

- a. Simulasi aliran daya pada sisi outgoing trafo 20/0,5 kV menggunakan beban 20% dari kapasitas trafo (447 kVA), Beban 40 % dari kapasitas trafo (892 kVA), Beban 60 % dari kapasitas trafo (1338 kVA), Beban 80 % dari kapasitas trafo (1784 kVA) bertujuan untuk mendapatkan nilai konsumsi aktual daya semu (kVA), daya nyata (kW), daya reaktif (kVAR) dan faktor daya .
- b. Distorsi harmonisa pada sisi outgoing trafo 20/0,75 kV atau bus simulasi hasil simulasi dengan software ETAP 12.6 menunjukkan nilai total distorsi harmonisa (THD) diatas 8%, hal ini melebihi batas standar harmonisa yang dipersyaratkan IEEE 512 -2014.
- c. Pemasangan filter pasif single tune orde 11,13,23 pada bus bar beban 20 % dan 40 %, telah mereduki harmonisa beban 20% dari harmonisa 9,45 % menjadi 5,22% dan harmonisa beban 40% dari harmonisa 9,48 % menjadi 4,94%.
- d. Perlu dilakukan simulasi peredaman harmonik dengan filter aktif maupun filter hybrid.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Fauzan, Y. Martin, and A. Haris, “Analisa Harmonisa Akibat Pengaruh Penggunaan Converter pada Kereta Rel Listrik 1x25 kV Yogyakarta-Solo,” *J. Electr.*, vol. 9, no. 3, pp. 192–202, 2015.
- [2] Y. Sabri and E. Kurniawan, “Perancangan Filter Pasif Untuk Mengatasi Harmonisa Pada Gardu Penyebaran Pusat Listrik Aliran Atas - PT KAI Commuter Jabodetabek Indonesia,” pp. 2–8, 2012.
- [3] R. Nursamsu and T. Alamsyah, “Analisa Harmonik Dan Pengaruhnya Pada Transformator Distribusi Tenaga Listrik Pemasangan Filter Aktif (AHF),” vol. 5, pp. 1–5, 2020.
- [4] I. P. Adi Wirajaya, I. W. Rinas, and I. W. Sukerayasa, “Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 2, p. 121, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i02.p17.
- [5] C. Studies, “IEEE Standard 519-2014,” 2014.
- [6] J. T. Elektro, F. Teknik, and U. N. Padang, “Unjuk Kerja Filter Pasif dalam Mereduksi Distorsi Gelombang pada AC / DC Konverter,” vol. 06, no. 02, pp. 122–132, 2020.