

## ANALISIS DAN PERANCANGAN MITIGASI HARMONIK TEGANGAN DAN ARUS DI POLTEKKES KEMENKES SEMARANG

Zoya Winona Ramli<sup>\*)</sup>, Susatyo Handoko dan Ajub Ajulian Zahra

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [zoyawinona@gmail.com](mailto:zoyawinona@gmail.com)

### Abstrak

Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang merupakan gedung perkuliahan yang terdiri dari 6 lantai dimana di dalamnya terdapat beban non linear yang merupakan sumber utama harmonik pada sistem, misalnya peralatan elektronik seperti lighting, komputer dan alat pendingin ruangan. Menurut standar IEEE 519-2014, nilai batas pada THDv ialah 8% untuk tegangan di bawah 1 kV dan nilai batas pada THDi disesuaikan dengan perhitungan nilai  $I_{sc}/I_L$ . Software ETAP 12.6 digunakan dalam pemodelan dan simulasi di Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang. Simulasi kondisi existing menunjukkan beberapa SDP belum memenuhi standar harmonik arus IEEE 519-2014 dimana THDi mencapai 39,22% sementara masing-masing SDP sudah memenuhi standar harmonik tegangan IEEE 519-2014. Berdasarkan kondisi tersebut, dilakukan perancangan filter pasif single tuned. Sesudah pemasangan filter, didapatkan nilai THDi tereduksi hingga 25,61% dan THDv ikut tereduksi hingga 1,44% dari kondisi existing. Selain itu, faktor daya bus trafo mencapai 98,9%, arus turun hingga  $\pm 11$  A, nilai tegangan 97% - 99%, serta daya reaktif turun sampai 32 kVAR, daya semu turun hingga 8 kVA dengan daya aktif konstan.

*Kata kunci: harmonik, mitigasi, IEEE 519-2014, filter pasif single-tuned, ETAP 12.6*

### Abstract

*The Poltekkes Kemenkes Semarang Postgraduate building is a lecture building consists of 6 floors that have non linear loads which is the main source of the harmonics in the system, such as lighting, computers and Air Conditioner (AC) devices. Based on IEEE Std 519-2014, the THDv value limit is 8% for voltages below 1 kV and THDi limit are adjusted according to the calculation of the  $I_{sc}/I_L$  value. ETAP 12.6 software is used for the modeling and simulation in the Postgraduate building of the Poltekkes Kemenkes Semarang. The simulation results of existing condition indicated some SDP buses have THDi exceed the limit determined by IEEE 519-2014 where THDi reaches 39,22% while each SDP have THDv values that are in accordance with IEEE Std 519-2014. Based on this condition, the author designed single-tuned passive filter. After filter installation, the THDi value is reduced by 25,61% and the THDv is also reduces by 1,44% from the existing condition. Furthermore, the bus transformer's power factor is capable of reaching 98,9%, its current can decrease up to  $\pm 11$  A, the value of voltage is 97% - 99% and the reactive power is reduces by 32 kVAR, apparent power is reduces by 8 kVA, while the active power is constant.*

*Keywords: harmonics, mitigation, IEEE Std 519-2014, single-tuned passive filter, ETAP 12.6*

### 1. Pendahuluan

Pada awalnya, Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang (Poltekkes Kemenkes Semarang) terbentuk dari gabungan 11 Akademi Kesehatan binaan Depkes RI di Provinsi Jawa Tengah, diantaranya Akademi Keperawatan Departemen Kesehatan Semarang, Magelang, Purwokerto, Blora dan Pekalongan, Akademi Kesehatan Lingkungan Departemen Kesehatan Purwokerto, Akademi Kebidanan Departemen Kesehatan Magelang dan Semarang, Akademi Kesehatan Gigi Departemen Kesehatan Semarang, Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Departemen Kesehatan Semarang serta Akademi Gizi Departemen Kesehatan Semarang yang kemudian melahirkan Jurusan dan Prodi di

Politeknik Kesehatan Departemen Kesehatan Semarang [1].

Baik itu universitas, perkantoran, industri, rumah sakit, gymnasium dan lainnya, sistem tenaga listrik tidak lepas dari keberadaan suatu gedung. Perencanaan tenaga listrik yang berkelanjutan dengan kondisi *steady state* menjadi kebutuhan yang perlu terpenuhi untuk mencapai tenaga listrik yang berkualitas. Akan tetapi pemakaian beban non linear akan mengakibatkan harmonik terhadap sistem distribusi tenaga listrik, sebab sumber utama gangguan harmonik adalah beban non linear [2]. Ketika impedansi tidak stabil akan menghasilkan arus listrik yang tidak sebanding dengan keadaan yang ada dan menyebabkan

beban non linear tidak sesuai dengan Hukum Ohm. Sebagai akibatnya, arus yang diproduksi beban non linear berbeda dengan gelombang sinusoidal dan menyebabkan terjadinya kecacatan (*distortion*).

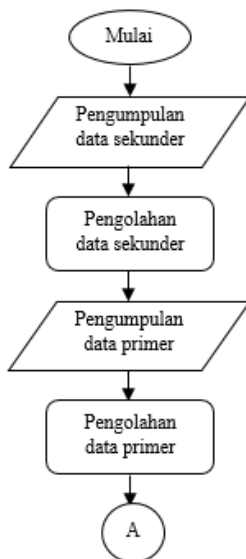
Jika dibiarkan, dampak harmonik akan menyebabkan masalah teknis dan finansial bagi lembaga yang bersangkutan. Kegagalan isolasi dapat terjadi karena komponen listrik menjadi lekas panas, dan menyebabkan kerusakan atau memperpendek umur peralatan. Harmonik merupakan gejala terdistorsinya gelombang arus listrik fundamental yang disebabkan oleh beban nonlinier [3].

Menurut penelitian yang dilaksanakan oleh Iskandar Zulkarnain [2], semakin besar *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang terdapat pada trafo maka semakin besar rugi trafo serta semakin besar pula derating trafo tersebut. Harmonik tidak dapat dihilangkan seluruhnya, tetapi nilainya dapat dikurangi hingga berada dalam batas aman [4]. Penelitian penanggulangan yang dilaksanakan Janny F. Abidin [5], menunjukkan bahwa teknik untuk mengoreksi gelombang yang terdistorsi meliputi injeksi arus harmonik, transformator penggeser fasa dan penyaringan (tapis). Tapis paralel pasif merupakan teknik paling sederhana dan praktis untuk digunakan.

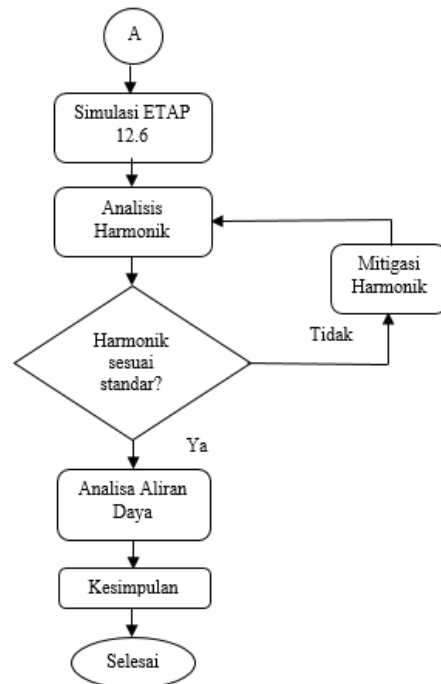
Nilai harmonik arus di Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang masih belum sesuai standar. Berdasarkan situasi tersebut, penulis melakukan pemodelan dengan *Single Line Diagram* dan menggunakan *software* bantu *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) 12.6 untuk menganalisis dan merancang mitigasi harmonik yang selanjutnya dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014 [6].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. (lanjutan)

### 2.2. Standar Harmonik

Standar IEEE 519-2014 [6] tentang nilai maksimum harmonik ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Nilai maksimum distorsi harmonik tegangan

| Bus Voltage (V) at PCC               | Individual Harmonic (%) | THD (%) |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|
| $V \leq 1 \text{ kV}$                | 5.0                     | 8.0     |
| $1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$   | 3.0                     | 5.0     |
| $69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$ | 1.5                     | 2.5     |
| $161 \text{ kV} < V$                 | 1.0                     | 1.5     |

Tabel 2. Batas maksimum THDi

| Isc/I <sub>L</sub> | THD (%) |
|--------------------|---------|
| < 20               | 5       |
| 20 < 50            | 8       |
| 50 < 100           | 12      |
| 100 < 1000         | 15      |
| > 1000             | 20      |

### 2.3. Data Penelitian

#### 2.3.1. Data hasil pengukuran

Tabel 3. Data hasil pengukuran

| Identitas Bus           | Fasa | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Semu (kVA) | Daya Nyata (kW) | Faktor Daya |
|-------------------------|------|--------------|----------|-----------------|-----------------|-------------|
| Bus AC Lantai 1         | R    | 231,8        | 17,6     | 4,4             | 4,0             | 0,907       |
|                         | S    | 233,5        | 17,9     | 4,2             | 3,8             | 0,916       |
|                         | T    | 233,3        | 19,6     | 4,9             | 4,6             | 0,966       |
| Bus Penerangan Lantai 1 | R    | 231,6        | 8,0      | 1,9             | 1,4             | 0,774       |
|                         | S    | 233,0        | 8,1      | 1,9             | 1,4             | 0,715       |
|                         | T    | 232,5        | 6,3      | 1,5             | 1,0             | 0,691       |

Tabel 3. (lanjutan)

| Identitas Bus           | Fasa | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Semu (kVA) | Daya Nyata (kW) | Faktor Daya |
|-------------------------|------|--------------|----------|-----------------|-----------------|-------------|
| Bus AC Lantai 2         | R    | 229,4        | 47,9     | 11,0            | 10,1            | 0,921       |
|                         | S    | 230,8        | 50,8     | 11,7            | 10,9            | 0,931       |
|                         | T    | 230,7        | 49,9     | 11,5            | 10,5            | 0,914       |
| Bus Penerangan Lantai 2 | R    | 228,8        | 11,4     | 2,6             | 1,9             | 0,744       |
|                         | S    | 230,1        | 5,6      | 1,3             | 1,0             | 0,734       |
|                         | T    | 230,1        | 8,8      | 2,0             | 1,6             | 0,772       |
| Bus AC Lantai 3         | R    | 230,1        | 27,5     | 6,3             | 6,3             | 0,993       |
|                         | S    | 232,0        | 23,0     | 5,3             | 5,3             | 0,992       |
|                         | T    | 232,9        | 13,1     | 3,1             | 3,0             | 0,988       |
| Bus Penerangan Lantai 3 | R    | 230,0        | 7,6      | 1,7             | 1,4             | 0,804       |
|                         | S    | 232,3        | 9,3      | 2,2             | 1,9             | 0,891       |
|                         | T    | 232,9        | 6,8      | 1,6             | 1,2             | 0,741       |
| Bus AC Lantai 4         | R    | 231,6        | 20,4     | 4,7             | 4,6             | 0,979       |
|                         | S    | 233,2        | 23,8     | 5,6             | 5,5             | 0,985       |
|                         | T    | 234,0        | 14,3     | 3,4             | 3,2             | 0,960       |
| Bus Penerangan Lantai 4 | R    | 232,0        | 8,7      | 2,0             | 1,7             | 0,854       |
|                         | S    | 234,5        | 5,1      | 1,2             | 0,7             | 0,576       |
|                         | T    | 235,0        | 7,5      | 1,8             | 1,3             | 0,738       |
| Bus AC Lantai 5         | R    | 233,5        | 24,9     | 5,8             | 5,8             | 0,990       |
|                         | S    | 234,3        | 29,7     | 7,0             | 6,9             | 0,988       |
|                         | T    | 235,7        | 21,5     | 5,1             | 4,9             | 0,965       |
| Bus Penerangan Lantai 5 | R    | 233,5        | 4,1      | 1,0             | 0,8             | 0,786       |
|                         | S    | 234,1        | 8,0      | 1,9             | 1,5             | 0,799       |
|                         | T    | 235,7        | 0,4      | 0,1             | 0,1             | 0,767       |
| Bus Penerangan Lantai 6 | R    | 235,1        | 1,4      | 0,3             | 0,2             | 0,756       |
|                         | S    | 236,8        | 1,8      | 0,4             | 0,3             | 0,781       |
|                         | T    | 236,5        | 2,4      | 0,6             | 0,4             | 0,754       |
| Bus Lift                | R    | 233,1        | 9,7      | 2,3             | 2,3             | 0,997       |
|                         | S    | 234,4        | 9,6      | 2,3             | 2,3             | 0,983       |
|                         | T    | 234,2        | 9,7      | 2,3             | 2,3             | 0,991       |

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1 Kondisi Existing Sistem

##### 3.1.1. Simulasi Aliran Daya

Tabel 4. Hasil simulasi aliran daya existing

| Bus ID                | kV*(%) | pF   | P(kW)  | Q(kVAR) | S (kVA) |
|-----------------------|--------|------|--------|---------|---------|
| Bus Trafo             | 99,48  | 0,93 | 125    | 49,444  | 135     |
| Bus MDP               | 99,31  | 0,93 | 125    | 49,347  | 134,388 |
| Bus SDP Lantai 1      | 99,20  | 0,89 | 17,055 | 8,884   | 19,230  |
| Bus SDP Lantai 2      | 99,00  | 0,90 | 36,815 | 17,816  | 40,899  |
| Bus SDP Lantai 3      | 99,08  | 0,95 | 22,971 | 7,556   | 24,182  |
| Bus SDP Lantai 4      | 99,05  | 0,92 | 21,109 | 8,741   | 22,847  |
| Bus SDP Lantai 5      | 99,06  | 0,97 | 18,862 | 4,774   | 19,457  |
| Bus SDP Lantai 6      | 99,29  | 0,76 | 0,935  | 0,793   | 1,226   |
| Bus Lift              | 99,27  | 0,99 | 6,568  | 0,922   | 6,632   |
| Bus AC Lantai 1       | 98,60  | 0,93 | 12,041 | 4,605   | 12,89   |
| Bus AC Lantai 2       | 97,49  | 0,92 | 30,133 | 12,635  | 32,675  |
| Bus AC Lantai 3       | 98,40  | 0,99 | 14,065 | 1,824   | 14,183  |
| Bus AC Lantai 4       | 98,43  | 0,98 | 12,749 | 2,738   | 13,040  |
| Bus AC Lantai 5       | 98,26  | 0,98 | 16,454 | 3,023   | 16,729  |
| Bus Komputer Lantai 1 | 99,14  | 0,85 | 1,178  | 0,73    | 1,386   |
| Bus Komputer Lantai 2 | 98,91  | 0,85 | 1,761  | 1,092   | 2,072   |
| Bus Komputer Lantai 3 | 98,86  | 0,85 | 4,399  | 2,726   | 5,175   |
| Bus Komputer Lantai 4 | 98,82  | 0,85 | 4,686  | 2,904   | 5,513   |
| Bus PP Lantai 1       | 99,00  | 0,73 | 3,743  | 3,501   | 5,125   |

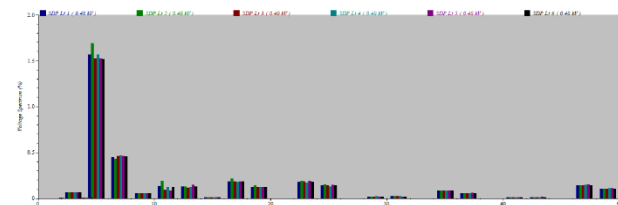
Tabel 4. (lanjutan)

| Bus ID          | kV*(%) | pF   | P(kW) | Q(kVAR) | S (kVA) |
|-----------------|--------|------|-------|---------|---------|
| Bus PP Lantai 2 | 98,77  | 0,75 | 4,377 | 3,843   | 5,825   |
| Bus PP Lantai 3 | 98,86  | 0,83 | 4,383 | 2,995   | 5,309   |
| Bus PP Lantai 4 | 98,87  | 0,76 | 3,567 | 3,089   | 4,719   |
| Bus PP Lantai 5 | 98,94  | 0,79 | 2,269 | 1,739   | 2,859   |
| Bus PP Lantai 6 | 99,27  | 0,76 | 0,935 | 0,793   | 1,226   |

#### 3.1.2. Simulasi Harmonic Analysis

Tabel 5. Hasil simulasi THDv kondisi existing

| Bus ID                | Fund (%) | RMS (%) | THD (%) | Standard IEEE 519-2014 (%) | THDv |
|-----------------------|----------|---------|---------|----------------------------|------|
| Bus Trafo             | 99,48    | 99,50   | 1,64    | 8                          |      |
| Bus MDP               | 99,31    | 99,32   | 1,71    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 1      | 99,20    | 99,21   | 1,77    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 2      | 99,00    | 99,01   | 1,89    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 3      | 99,08    | 99,09   | 1,73    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 4      | 99,05    | 99,07   | 1,77    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 5      | 99,06    | 99,07   | 1,74    | 8                          |      |
| Bus SDP Lantai 6      | 99,29    | 99,30   | 1,72    | 8                          |      |
| Bus Lift              | 99,27    | 99,28   | 1,71    | 8                          |      |
| Bus AC Lantai 1       | 98,60    | 98,62   | 1,93    | 8                          |      |
| Bus AC Lantai 2       | 97,49    | 97,52   | 2,39    | 8                          |      |
| Bus AC Lantai 3       | 98,40    | 98,42   | 1,75    | 8                          |      |
| Bus AC Lantai 4       | 98,43    | 98,45   | 1,91    | 8                          |      |
| Bus AC Lantai 5       | 98,26    | 98,27   | 1,76    | 8                          |      |
| Bus Komputer Lantai 1 | 99,14    | 99,15   | 1,77    | 8                          |      |
| Bus Komputer Lantai 2 | 98,91    | 98,93   | 1,89    | 8                          |      |
| Bus Komputer Lantai 3 | 98,86    | 98,87   | 1,72    | 8                          |      |
| Bus Komputer Lantai 4 | 98,82    | 98,83   | 1,77    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 1       | 99,00    | 99,02   | 1,80    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 2       | 98,77    | 98,79   | 1,94    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 3       | 98,86    | 98,87   | 1,78    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 4       | 98,87    | 98,89   | 1,80    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 5       | 98,94    | 98,96   | 1,77    | 8                          |      |
| Bus PP Lantai 6       | 99,27    | 99,28   | 1,72    | 8                          |      |



Gambar 2. Spektrum harmonik tegangan Bus SDP Lantai 1, Lantai 2, Lantai 3, Lantai 4, Lantai 5, dan Lantai 6 Gedung Pascasarjana.

Dalam tabel 5 di atas ditunjukkan bahwa  $THD_v$  beban di semua bus mencapai  $\pm 1.7\%$  dimana nilai tersebut telah sesuai dengan standart sistem kelistrikan IEEE 519-2014 dengan level tegangan 1kV ke bawah adalah 8%. Pada gambar 4.2 berikut merupakan perbandingan spektrum harmonik antara Bus SDP Lantai 1 s/d Lantai 6.

Gambar 2 menunjukkan bahwa orde dominan harmonik tegangan pada sistem ini adalah orde 5 yang merupakan jenis harmonik ganjil. Sementara jika didasarkan pada polaritas, orde 5 merupakan urutan negatif.

Hal yang harus diperhatikan selain harmonik tegangan adalah nilai distorsi arus [7]. Pada tabel 6 berikut dijelaskan data  $THD_i$  pada sistem kelistrikan transformator 800 kVA.

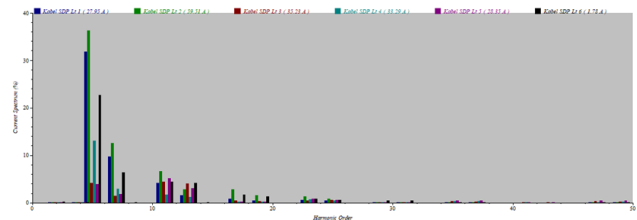
Tabel 6. Hasil simulasi harmonik arus kondisi existing

| Bus ID                | $I_{sc}$ (kA) | $I_L$ (A) | $I_{sc}/I_L$ | THD (%) | IEEE Std 519-2014 (%) |
|-----------------------|---------------|-----------|--------------|---------|-----------------------|
| Bus Trafo             | 23,381        | 194,8     | 120,0        | 31,21   | 15                    |
| Bus MDP               | 20,523        | 194,8     | 105,4        | 19,82   | 15                    |
| Bus SDP Lantai 1      | 12,549        | 27,95     | 449,0        | 33,57   | 15                    |
| Bus SDP Lantai 2      | 11,098        | 59,51     | 186,5        | 39,22   | 15                    |
| Bus SDP Lantai 3      | 9,924         | 35,23     | 281,7        | 7,44    | 15                    |
| Bus SDP Lantai 4      | 8,961         | 33,29     | 269,2        | 13,58   | 15                    |
| Bus SDP Lantai 5      | 8,159         | 28,45     | 286,8        | 7,52    | 15                    |
| Bus SDP Lantai 6      | 7,484         | 1,7842    | 4194,6       | 24,46   | 20                    |
| Bus Lift              | 12,549        | 9,644     | 1301,2       | 9,77    | 20                    |
| Bus AC Lantai 1       | 2,670         | 18,87     | 141,5        | 40,61   | 15                    |
| Bus AC Lantai 2       | 2,591         | 48,37     | 53,6         | 44,18   | 12                    |
| Bus AC Lantai 3       | 2,516         | 20,8      | 121,0        | 9,50    | 15                    |
| Bus AC Lantai 4       | 2,445         | 19,12     | 127,9        | 18,68   | 15                    |
| Bus AC Lantai 5       | 2,378         | 24,57     | 96,8         | 7,73    | 12                    |
| Bus Komputer Lantai 1 | 2,670         | 2,018     | 1323,1       | 10,45   | 20                    |
| Bus Komputer Lantai 2 | 2,591         | 3,024     | 856,8        | 10,51   | 15                    |
| Bus Komputer Lantai 3 | 2,516         | 7,556     | 333,0        | 10,38   | 15                    |
| Bus Komputer Lantai 4 | 2,445         | 8,053     | 303,6        | 10,42   | 15                    |
| Bus PP Lantai 1       | 2,670         | 7,472     | 357,3        | 23,65   | 15                    |
| Bus PP Lantai 2       | 2,591         | 8,511     | 304,4        | 24,27   | 15                    |
| Bus PP Lantai 3       | 2,516         | 7,751     | 324,6        | 19,57   | 15                    |
| Bus PP Lantai 4       | 2,445         | 6,888     | 355,0        | 16,56   | 15                    |
| Bus PP Lantai 5       | 2,378         | 4,17      | 570,3        | 24,28   | 15                    |
| Bus PP Lantai 6       | 3,577         | 1,782     | 2007,3       | 24,46   | 20                    |

Pada tabel 6 ditunjukkan besaran  $THD_i$  dan standarnya yang didasarkan pada nilai  $I_{sc}/I_L$ . Terlihat bahwa sebagian besar nilai THD pada bus nilainya di atas standar IEEE 519-2014, terutama bus penerangan. Kualitas arus sangat bergantung pada beban dan faktor yang menentukan

pemanasan berlebih pada peralatan adalah besar harmonik arus [8].

Berlawanan dengan harmonik tegangan yang dilihat dari bus, pada harmonik arus diamati dari kabel yang terletak antara peralatan transformator dan beban. Misalnya, spektrum harmonik arus pada Bus SDP lantai 1 s/d lantai 6 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Spektrum distorsi arus kabel Penghantar di Bus SDP Lantai 1, Lantai 2, Lantai 3, Lantai 4, Lantai 5, dan Lantai 6 Gedung Pascasarjana.

Gambar 3 menunjukkan  $IHD_i$  tertinggi pada Bus SDP lantai 1 s/d lantai 6 adalah orde 5. Berdasarkan ordenya harmonik dapat dibedakan menjadi harmonik ganjil dan genap. Harmonik genap terdiri dari harmonik ke- 2, -4, -6, -8, dan seterusnya. Sedangkan harmonik ganjil terdiri dari harmonik ke-3, -5, -7, -9, dan seterusnya. Adapun harmonik pertama tidak masuk kedalam harmonik ganjil karena merupakan frekuensi fundamental (dasar). Sedangkan harmonik orde 0 menunjukkan konstanta atau komponen DC dari suatu gelombang [9].

Harmonik arus orde dominan tertinggi terletak di Bus SDP Lantai 2 sebesar 36,27% dan terendah terletak di Bus SDP Lantai 5 sebesar 3,83%. Orde dominan yang muncul pada spektrum merupakan akibat pengaruh sumber harmonik, yaitu *lighting* berupa lampu TL dan LED. Lampu tersebut merupakan jenis beban penerangan yang tergolong dalam tipe beban nonlinier sehingga lampu TL memiliki potensi menghasilkan harmonik di dalam pengoperasiannya [10].

### 3.2. Perancangan Filter Pasif Single-Tuned

Untuk mengecilkan distorsi harmonik pada sistem kelistrikan Gedung Pascasarjana, penulis merancang filter harmonik jenis filter pasif. Filter pasif adalah solusi efektif dalam mengurangi harmonik dan meningkatkan faktor daya sistem [11]. Selain itu, penurunan efisiensi transformator akibat harmonisa dapat mencapai sekitar 6 % [12].

Filter pasif terdiri dari induktor, kapasitor, resistor (R, L, C) dan unsur-unsur tahanan untuk meredam harmonisa. Kapasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kVAR yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (*skin effect*). [13].

Dalam hal ini, penulis membuat perhitungan untuk masing-masing parameter filter dan membuat simulasi pemasangan memanfaatkan ETAP 12.6. Dalam pemasangan filter juga mempertimbangkan analisis daya (*load flow*) setelah mitigasi.

Berikut merupakan perhitungan parameter pemasangan filter pada Gedung Pascasarjana, sebagai contoh perhitungan untuk Bus AC Lantai 1.

**Kapasitor**

- Faktor daya awal = 0,934;  $\theta_1 = 20,933^\circ$
- P daya aktif = 12,041 kW
- Faktor daya yang diinginkan = 0,999;  $\theta_2 = 2,563^\circ$

Pemasangan kapasitor agar mencapai faktor daya 99,9% sesuai dengan persamaan

- $Q_c = 12,041(\tan 20,933^\circ - \tan 2,563^\circ)$   
 $Q_c = 4,067 \text{ kVAR}$

Sehingga diperoleh nilai kapasitor

- $C = \frac{4,067}{2\pi \times 50 \times 0,38^2}$   
 $C = 89,651 \mu F$

**Induktor**

Nilai orde harmonik yang akan difilter adalah orde dominan yakni orde 5. Penyetelan diturunkan sedikit dibawahnya menjadi 4.9. Hal ini perlu dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu.

- $L = \frac{1}{(2\pi \times 50 \times 4,9)^2 \times 89,651 \times 10^{-6}}$   
 $L = 4,707 \text{ mH}$

Sehingga nilai reaktor sesuai persamaan

- $X_L = 2\pi \times 50 \times 4,707 \times 10^{-3}$   
 $X_L = 1,479 \Omega$

**Resistor**

Pada frekuensi resonansi  $X_O = X_C = X_L$ . Perencanaan filter ini akan dipilih Q = 30 dengan persamaan (2.22)

- $R = \frac{1,479}{30} = 0,049 \Omega$

Menggunakan persamaan yang sama, diperoleh parameter sebagai berikut.

**Tabel 7. Parameter filter sistem kelistrikan**

| Indeks Bus      | Qc (kVAR) | C (μF) | X <sub>L</sub> (Ω) | R (Ω) |
|-----------------|-----------|--------|--------------------|-------|
| Bus AC Lantai 1 | 4,067     | 89,65  | 1,479              | 0,049 |
| Bus AC Lantai 2 | 11,416    | 227,1  | 0,561              | 0,019 |
| Bus AC Lantai 4 | 2,143     | 42,63  | 2,987              | 0,099 |
| Bus PP Lantai 1 | 2,639     | 52,50  | 2,425              | 0,081 |
| Bus PP Lantai 2 | 3,353     | 66,71  | 1,909              | 0,064 |

**Tabel 7. (lanjutan)**

| Indeks Bus      | Qc (kVAR) | C (μF) | X <sub>L</sub> (Ω) | R (Ω) |
|-----------------|-----------|--------|--------------------|-------|
| Bus PP Lantai 3 | 2,634     | 52,39  | 2,430              | 0,081 |
| Bus PP Lantai 4 | 2,893     | 57,56  | 2,212              | 0,074 |
| Bus PP Lantai 5 | 1,610     | 32,03  | 3,975              | 0,133 |
| Bus PP Lantai 6 | 0,612     | 12,18  | 10,453             | 0,348 |

Parameter filter tersebut selanjutnya akan dimasukkan ke dalam parameter filter pasif jenis *single tuned* di *software* bantu ETAP 12.6 Pemasangan filter *single-tuned* hanya dilakukan di bus beban untuk menghindari turunnya *power factor*.

**3.3. Analisis Sistem Setelah Pemasangan Filter Pasif Single-Tuned**

**Tabel 8. Perbandingan THD<sub>v</sub> dan THD<sub>i</sub> sebelum dan setelah filter dipasang**

| Bus ID           | THD Tegangan (%) |                  |         | THD Arus (%)     |                  |         |
|------------------|------------------|------------------|---------|------------------|------------------|---------|
|                  | Sebelum Mitigasi | Sesudah Mitigasi | Standar | Sebelum Mitigasi | Sesudah Mitigasi | Standar |
| Bus Trafo        | 1,64             | 0,52             | 8       | 31,21            | 6,28             | 15      |
| Bus MDP          | 1,71             | 0,55             | 8       | 19,82            | 6,28             | 15      |
| Bus SDP Lantai 1 | 1,77             | 0,57             | 8       | 33,57            | 14,66            | 15      |
| Bus SDP Lantai 2 | 1,89             | 0,64             | 8       | 39,22            | 16,20            | 15      |
| Bus SDP Lantai 3 | 1,73             | 0,56             | 8       | 7,44             | 6,36             | 15      |
| Bus SDP Lantai 4 | 1,77             | 0,55             | 8       | 13,58            | 3,95             | 15      |
| Bus SDP Lantai 5 | 1,74             | 0,57             | 8       | 7,52             | 6,57             | 15      |
| Bus SDP Lantai 6 | 1,72             | 0,55             | 8       | 24,46            | 12,66            | 20      |
| Bus Lift         | 1,71             | 0,55             | 8       | 9,77             | 9,96             | 20      |
| Bus AC Lantai 1  | 1,93             | 0,67             | 8       | 40,61            | 18,98            | 15      |
| Bus AC Lantai 2  | 2,39             | 0,95             | 8       | 44,18            | 18,57            | 12      |
| Bus AC Lantai 3  | 1,75             | 0,59             | 8       | 9,50             | 9,69             | 15      |
| Bus AC Lantai 4  | 1,91             | 0,59             | 8       | 18,68            | 8,99             | 15      |
| Bus AC Lantai 5  | 1,76             | 0,61             | 8       | 7,73             | 7,94             | 12      |
| Bus Kom Lantai 1 | 1,77             | 0,57             | 8       | 10,45            | 10,16            | 20      |
| Bus Kom Lantai 2 | 1,89             | 0,64             | 8       | 10,51            | 10,12            | 15      |
| Bus Kom Lantai 3 | 1,72             | 0,56             | 8       | 10,38            | 10,09            | 15      |
| Bus Kom Lantai 4 | 1,77             | 0,56             | 8       | 10,42            | 10,11            | 15      |
| Bus PP Lantai 1  | 1,80             | 0,58             | 8       | 23,65            | 14,95            | 15      |
| Bus PP Lantai 2  | 1,94             | 0,65             | 8       | 24,27            | 14,87            | 15      |
| Bus PP Lantai 3  | 1,78             | 0,56             | 8       | 19,57            | 7,70             | 15      |
| Bus PP Lantai 4  | 1,80             | 0,55             | 8       | 16,56            | 14,82            | 15      |
| Bus PP Lantai 5  | 1,77             | 0,57             | 8       | 24,28            | 11,43            | 15      |
| Bus PP Lantai 6  | 1,72             | 0,55             | 8       | 24,46            | 12,66            | 20      |

Pemasangan filter juga mempertimbangkan analisis daya setelah mitigasi [14] yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil simulasi aliran daya setelah pemasangan filter

| Indeks Bus            | V (%)    |                  | I (A)    |                  | Pf (%)   |                  |
|-----------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
|                       | Existing | Setelah Mitigasi | Existing | Setelah Mitigasi | Existing | Setelah Mitigasi |
| Bus Trafo             | 99,48    | 99,67            | 194,8    | 183,4            | 92,7     | 98,9             |
| Bus MDP               | 99,31    | 99,51            | 194,8    | 183,4            | 93,0     | 99,0             |
| Bus SDP Lantai 1      | 99,20    | 99,42            | 27,95    | 25,1             | 88,8     | 99,3             |
| Bus SDP Lantai 2      | 99,00    | 99,24            | 59,51    | 54               | 90,2     | 99,7             |
| Bus SDP Lantai 3      | 99,08    | 99,29            | 35,23    | 34,3             | 95,0     | 97,8             |
| Bus SDP Lantai 4      | 99,05    | 99,28            | 33,29    | 31,3             | 92,4     | 98,5             |
| Bus SDP Lantai 5      | 99,06    | 99,27            | 28,35    | 27,9             | 96,9     | 98,6             |
| Bus SDP Lantai 6      | 99,29    | 99,50            | 1,782    | 1,4              | 76,3     | 98,5             |
| Bus Lift              | 99,27    | 99,48            | 9,644    | 9,7              | 99,0     | 99,0             |
| Bus AC Lantai 1       | 98,60    | 98,84            | 18,87    | 17,7             | 93,4     | 99,9             |
| Bus AC Lantai 2       | 97,49    | 97,78            | 48,37    | 44,8             | 92,2     | 99,9             |
| Bus AC Lantai 3       | 98,40    | 98,62            | 20,80    | 20,8             | 99,2     | 99,2             |
| Bus AC Lantai 4       | 98,43    | 98,67            | 19,12    | 18,8             | 97,8     | 99,9             |
| Bus AC Lantai 5       | 98,26    | 98,47            | 24,57    | 24,6             | 98,4     | 98,4             |
| Bus Komputer Lantai 1 | 99,14    | 99,36            | 2,018    | 2,0              | 85,0     | 85,0             |
| Bus Komputer Lantai 2 | 98,91    | 99,15            | 3,024    | 3,0              | 85,0     | 85,0             |
| Bus Komputer Lantai 3 | 98,86    | 99,07            | 7,556    | 7,6              | 85,0     | 85,1             |
| Bus Komputer Lantai 4 | 98,82    | 99,04            | 8,053    | 8,1              | 85,0     | 85,1             |
| Bus PP Lantai 1       | 99,00    | 99,23            | 7,472    | 5,6              | 73,0     | 97,8             |
| Bus PP Lantai 2       | 98,77    | 99,03            | 8,511    | 6,5              | 75,1     | 99,5             |
| Bus PP Lantai 3       | 98,86    | 99,08            | 7,751    | 6,4              | 82,6     | 99,7             |
| Bus PP Lantai 4       | 98,87    | 99,11            | 6,888    | 5,2              | 75,6     | 99,9             |
| Bus PP Lantai 5       | 98,94    | 99,16            | 4,170    | 3,3              | 79,4     | 99,9             |
| Bus PP Lantai 6       | 99,27    | 99,48            | 1,782    | 1,4              | 76,3     | 98,5             |

Pada Tabel 9 terlihat nilai tegangan meningkat dari nilai *existing*nya. Sementara itu, nilai arus mengalami penurunan sehingga akan meminimalkan kerugian pada jalur penghantar yang ditunjukkan pada Tabel 10.

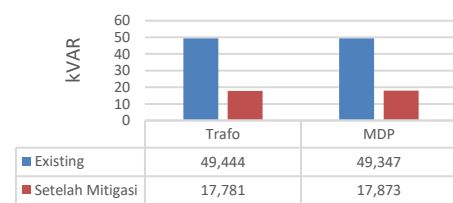
Tabel 10. Perbandingan *losses* kondisi *existing* dengan setelah mitigasi

| Indeks Bus            | Losses Existing | Kondisi Existing | Losses Mitigasi | Setelah Mitigasi |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|                       | kW              | kVAR             | kW              | kVAR             |
| Bus Trafo             | 0,313           | 1,095            | 0,277           | 0,97             |
| Bus MDP               | 0,218           | 0,097            | 0,193           | 0,086            |
| Bus SDP Lantai 1      | 0,021           | 0,007            | 0,017           | 0,006            |
| Bus SDP Lantai 2      | 0,122           | 0,041            | 0,1             | 0,033            |
| Bus SDP Lantai 3      | 0,053           | 0,018            | 0,05            | 0,017            |
| Bus SDP Lantai 4      | 0,056           | 0,019            | 0,049           | 0,016            |
| Bus SDP Lantai 5      | 0,047           | 0,016            | 0,046           | 0,015            |
| Bus SDP Lantai 6      | 0               | 0                | 0               | 0,0              |
| Bus Lift              | 0,218           | 0,001            | 0,002           | 0,001            |
| Bus AC Lantai 1       | 0,080           | 0,007            | 0,070           | 0,006            |
| Bus AC Lantai 2       | 0,526           | 0,048            | 0,452           | 0,041            |
| Bus AC Lantai 3       | 0,097           | 0,009            | 0,098           | 0,009            |
| Bus AC Lantai 4       | 0,082           | 0,007            | 0,079           | 0,007            |
| Bus AC Lantai 5       | 0,136           | 0,012            | 0,136           | 0,012            |
| Bus Komputer Lantai 1 | 0,001           | 0                | 0,001           | 0                |
| Bus Komputer Lantai 2 | 0,002           | 0                | 0,002           | 0                |
| Bus Komputer Lantai 3 | 0,013           | 0,001            | 0,013           | 0,001            |
| Bus Komputer Lantai 4 | 0,015           | 0,001            | 0,015           | 0,001            |
| Bus PP Lantai 1       | 99,00           | 99,23            | 7,472           | 5,6              |
| Bus PP Lantai 2       | 98,77           | 99,03            | 8,511           | 6,5              |

Tabel 10. (lanjutan)

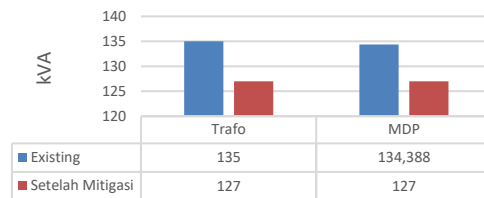
| Indeks Bus      | Losses Existing | Kondisi Existing | Losses Mitigasi | Setelah Mitigasi |
|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|                 | kW              | kVAR             | kW              | kVAR             |
| Bus PP Lantai 3 | 98,86           | 99,08            | 7,751           | 6,4              |
| Bus PP Lantai 4 | 98,87           | 99,11            | 6,888           | 5,2              |
| Bus PP Lantai 5 | 98,94           | 99,16            | 4,170           | 3,3              |
| Bus PP Lantai 6 | 99,27           | 99,48            | 1,782           | 1,4              |
| <b>Total</b>    | <b>1,8</b>      | <b>1,4</b>       | <b>1,6</b>      | <b>1,2</b>       |

Filter digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif, sehingga meningkatkan kualitas daya sistem.



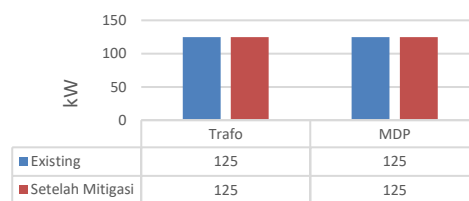
Gambar 4. Perbandingan kVAR loading di Bus Trafo dan Bus MDP

Sementara itu, untuk nilai kVA *loading* mengalami penurunan karena faktor daya yang meningkat [15].



Gambar 5. Perbandingan kVA loading di Bus Trafo dan Bus MDP

Sedangkan untuk nilai kW *loading* cenderung konstan.



Gambar 6. Perbandingan kW loading di Bus Trafo dan Bus MDP

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, setelah dilakukan mitigasi berupa pemasangan filter pasif *single-tuned* diperoleh nilai THD trafo sudah memenuhi dan mendekati standar IEEE 519-2014 sebesar 0,52% untuk THDv dan 6,28% untuk THDi. Kualitas daya sistem kelistrikan trafo dalam kondisi yang cukup baik dari segi faktor daya sebesar 98,9%, serta efisiensi sistem kelistrikan mengalami peningkatan dengan turunnya daya reaktif dan daya semu, sementara daya aktif cenderung konstan.

#### Referensi

- [1]. Polkesmar. Sejarah Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang. (2012) [Online]. Tersedia: <https://www.poltekkes-smg.ac.id/profile/sejarah>. Diakses: Mar. 17, 2021.
- [2]. Iskandar Zulkarnain, "Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral,, Rugi-rugi dan Penurunan Kapasitas pada Transformator Distribusi," Universitas Diponegoro, 2011.
- [3]. Handbook of Power Quality, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2008.
- [4]. Stefanus Suryo Sumarno, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani, "Studi Analisis dan Mitigasi Harmonisa pada PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5 no. 2 ISSN:2337-3539 (2301-9271), 2016.
- [5]. Janny F. Abidin, "Analisis unjuk kerja harmonik di instalasi listrik industri dan upaya penanggulangannya". *Jurnal Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana*, vol. 6, no. 3, ISSN: 2086-9479, Desember 2015.
- [6]. IEEE Power and Energy Society. 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power System. New York: 2014.
- [7]. Ayun Brilian Sharizky Putri, "Analisa Harmonisa Tegangan dan Harmonisa Arus pada Sistem Elektrikal Gedung Teknik PWK dan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro," Universitas Diponegoro, 2020.
- [8]. Hanifah Nur Kumala N., Asih Setiarini, "Kajian Harmonisa Arus pada Gedung M.Nuh Lantai 3 Politeknik Negeri Madiun," Politeknik Negeri Madiun, 2016.
- [9]. Sankaran, C. Power Quality. CRC Press LLC. USA. 2002.
- [10]. Bien, Liem Ek dan Sudarno. "Pengujian Harmonisa dan Upaya Pengurangan Gangguan Harmonisa pada Lampu Hemat Energi". *JETri*, Volume 4, Nomor 1, Halaman 53-64, ISSN 1412-0372, 200
- [11]. Ridla Setya Nur Armina, "Studi Analisis dan Perancangan Mitigasi Harmonisa Menggunakan Filter Pasif *Single-Tuned* sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Sistem Kelistrikan Unit Spinning I/II di PT Sri Rejeki Isman, TBK," Universitas Diponegoro, 2019.
- [12]. Buhron, H; Sutanto, J. 2001. 'Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya'. Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung, Dept. Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya.
- [13]. Tanoto, 2005. "Simulasi Active Filter dan Sistem Kerja Rangkaian Dalam Meredam Harmonisa pada Vacuum Casting Induction Furnace Dengan Daya 9 kW, 13.8 kVA, 200 V, 3 Fasa , 50/60 Hz." Surabaya : Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.
- [14]. R.C Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, 2012. Electrical Power System Quality, Second Edition. McGraw Hill Professional
- [15]. Gema Ramadhan, "Analisa Harmonisa Sistem Kelistrikan Pabrik Peleburan Baja PT. Ispat Indo Surabaya Akibat Perubahan Konfigurasi dan Pergantian Trafo Utama," Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI, Institut Teknologi Surabaya.