

SIMULASI PEREDAMAN DISTORSI HARMONISA MENGUNAKAN FILTER AKTIF DAN ANALISIS RUGI- RUGI DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN DI HOTEL THE BENE KUTA

I Nyoman Agus Sudiatma¹, I Wayan Rinas², Antonius Ibi Weking³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Denpasar – Bali
Email : agus.sudiatma@gmail.com¹, rinas@unud.ac.id², tony@ee.unud.ac.id³

ABSTRAK

Pengoperasian beban non linier pada sistem tenaga listrik akan menimbulkan harmonisa. Pengoperasian beban non linier pada simulasi sistem kelistrikan di hotel The Bene Kuta menimbulkan arus harmonisa yang mengakibatkan rugi-rugi daya. Simulasi menggunakan software ETAP, dan menentukan standar THD (*Total Harmonic Distortion*) menurut IEEE 519-2014. Standar nilai THD_i hasil perhitungan maksimum 5,0% dan THD_v maksimum 5,0%. Membandingkan hasil simulasi dengan standar yang ditentukan, pemasangan filter aktif *high pass*, serta analisis rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan filter. Nilai THD_i hasil simulasi masih belum memenuhi standar dengan rata-rata adalah 9,7%. Adanya pemasangan filter aktif *high pass* dapat mereduksi distorsi harmonisa dengan nilai THD_i rata-rata 1,5% dan nilai rata-rata THD_v sebesar 0,31%. Total rugi-rugi daya sebelum pemasangan filter aktif adalah 153.119,8 Watt dan sesudah pemasangan filter menjadi 1.511,2 Watt. Penurunan nilai filter yang digunakan 70% dari kemampuan maksimal filter guna mendapatkan filter yang lebih efisien, tetapi masih memenuhi standar THD yang ditentukan. Total rugi-rugi daya sistem kelistrikan diperoleh 11.885,5W.

Kata Kunci : Beban *non-linier*, Harmonisa, Filter Aktif, Rugi- rugi daya.

ABSTRACT

A non-linear load operation on a power system will generate harmonics. Operating non-linear loads on the simulated electrical system at the Bene Hotel Kuta created a harmonic current which resulted in power losses. In this study, the simulation used ETAP software, and determined the standard of THD (*Total Harmonic Distortion*) according to IEEE 519-2014, the standard maximum THD_i value 5.0% and THD_v maximum 5,0%. Compared the simulation results with the specified standards, installation of a high pass active filter, as well as power loss analysis before and after filter installation. THD_i value of simulation result did not still meet the standard, with the average being 9.7%. The installation of a high pass active filter could reduce harmonic distortion with an average THD_i value of 1.5% and a THD_v value of 0.31%. The total power loss prior to installation of active filter was 153,119.8 Watt and after the installation it became 1,511.2 Watt. The decrease in filter values used 70% of the filter's maximum capability to obtain a more efficient filter, but it still met the specified THD standard. Total loss of power on electrical system was 11,885.5W.

Keywords: *Non-linear* loads, Harmonics, Active Filter, Power losses.

1. PENDAHULUAN

Pengoprasi-an beban *non linier* di dalam suatu sistem kelistrikan terus meningkat

dengan mempertimbangkan efisiensi daya. Disisi lain, beban *non linier* menyebabkan mutu daya listrik semakin rendah salah satunya adalah gejala harmonisa.

Harmonisa dapat mengakibatkan mutu daya menurun serta terjadinya rugi-rugi daya. Harmonisa ini dapat diminimalisir dengan pemasangan filter harmonisa. Tujuan pemasangan filter harmonisa untuk mereduksi amplitudo frekuensi dari sebuah tegangan atau arus.

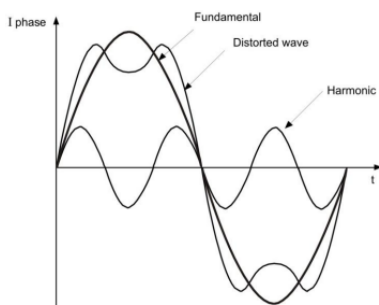
Sistem kelistrikan Hotel The Bene Kuta disuplai dari PLN dengan kapasitas 630 kVA. Hasil pengukuran di lapangan diperoleh besarnya THD_i pada MDP (*Main Distribution Pannel*) yaitu 10,58% yang melebihi standar yang ditentukan menurut *IEEE 519-2014* yaitu tidak lebih dari 5%. Kemudian untuk THD_v pada MDP yaitu 1,53% yang masih memenuhi standar yaitu di bawah 5%.

Nilai harmonisa hasil pengukuran yang tinggi mengakibatkan kualitas daya listrik menurun. Dengan demikian perlu dilakukan pemasangan filter aktif untuk menangani distorsi harmonisa agar nantinya dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Distorsi Harmonisa

Distorsi Harmonisa merupakan cacat gelombang yang terjadi secara periodik yang terjadi pada gelombang tegangan, arus, atau daya yang diakibatkan pengoprasian beban *non linier*. Gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau *fundamental* sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya [1].



Gambar 1. Bentuk Gelombang Terdistorsi.[2]

Standar distorsi harmonisa yang baik untuk arus dan tegangan berdasarkan *IEEE 519-2014* sesuai dengan Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Batas Distorsi Harmonik Arus untuk Sistem Distribusi Umum [3]

| Distorsi Harmonik Maksimum Arus dalam Persen dari I_L | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| I_{sc}/I_L | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h < 50$ | THD |
| <20* | 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 |

Rasio hubung singkat (SC_{ratio}) dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut.

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (1)$$

Arus hubung singkat (I_{sc}) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z(\%)} \quad (2)$$

Arus beban maksimum (I_L) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I_L = \frac{KW}{PF \cdot \sqrt{3} \cdot KV} \quad (3)$$

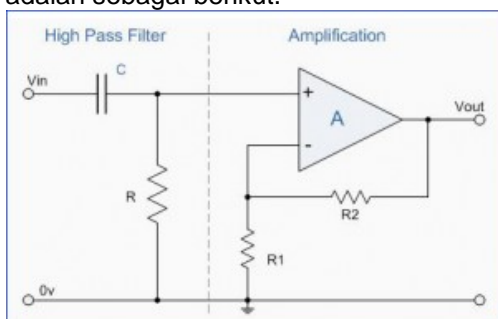
Tabel 2. Batas Maksimum Distorsi Tegangan [3]

| Tegangan Saluran pada PCC | Distorsi Tegangan Individu (%) | Jumlah Distorsi Tegangan THD (%) |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| $V \leq 1$ kV | 5,0 | 8,0 |
| 1 kV sampai 69 kV | 3,0 | 5,0 |
| 69 kV sampai 161 kV | 1,5 | 2,5 |
| 161 kV dan di atasnya | 1,0 | 1,5 |

2.2 Filter Harmonisa

Filter Aktif adalah suatu perangkat elektronik yang dapat memperbaiki kualitas daya yang dikirimkan dari sumber ke beban. Filter sistem tenaga listrik biasanya terdiri dari Filter Aktif dan Filter Pasif. Pemakaian Filter Aktif pada sistem tenaga listrik lebih fleksibel daripada Filter Pasif karena dari segi penggunaan dan unjuk kerja (*performance*) Filter Aktif lebih ekonomis [4].

Rangkaian dasar dari sebuah filter aktif *high pass* (*Active High Pass Filter, HPF*) adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Rangkaian Filter Aktif High Pass [4]

Daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya :

$$\theta_1 = \text{Arc cos } \varphi_{\text{system}} \quad (4)$$

$$\theta_2 = \text{Arc cos } \varphi_{\text{normal}} \quad (5)$$

$$\theta_C = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (6)$$

Perhitungan nilai kapasitor :

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} \quad (7)$$

$$X_C = \frac{V^2}{kVar} \quad (8)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (9)$$

Perhitungan nilai Induktor :

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi f n)^2} \quad (10)$$

$$X_L = 2\pi f L \quad (11)$$

2.3 Rugi–Rugi Daya

Rugi–rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya utama ke suatu beban listrik. Dalam setiap penyaluran daya listrik ke beban pasti terdapat rugi–rugi daya yang diakibatkan oleh faktor tertentu seperti jarak saluran listrik ke beban terlalu jauh, yang mengakibatkan bertambah besar tahanan suatu saluran kabel yang digunakan.

$$R = \rho \times \frac{L}{\alpha} \quad (12)$$

Pada keadaan beban seimbang, rugi–rugi daya yang terjadi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [5]:

$$P_L = 3 \times I^2 R_{\text{line}} \quad (13)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Hotel The Bene Kuta yang beralamat di Jalan Benesari Kuta Bali. Jenis data yang digunakan adalah data primer yaitu data pengukuran langsung di pelanggan. Data tersebut meliputi data beban non linier, data transformator, single line diagram, data pengukuran THD arus dan THD tegangan, panjang penghantar. Data sekunder yang diperoleh dari sumber data kepustakaan (*library research*) yang berasal dari buku-buku yang berhubungan dengan penelitian. Tahapan analisis dapat dilihat sebagai berikut:

- Pengambilan data berupa pengukuran THD arus dan tegangan serta pembagian beban pada setiap SPD di hotel The Bene Kuta
- Menghitung arus hubung singkat (I_{sc}), menghitung kapasitas daya aktif setiap SDP, hitung arus beban maksimum (I_L)
- Menghitung SC_{ratio} serta menentukan batas maksimum THD_I dan THD_V yang digunakan berdasarkan standar IEEE 519–2014.
- Pemodelan sistem kelistrikan The Bene Hotel dan analisis simulasi THD_I dan THD_V dengan menggunakan software ETAP.
- Jika simulasi tidak menunjukkan adanya THD berlebih maka tidak diperlukan pemasangan filter harmonisa. Jika menunjukkan THD berlebih maka akan dipasang filter aktif.

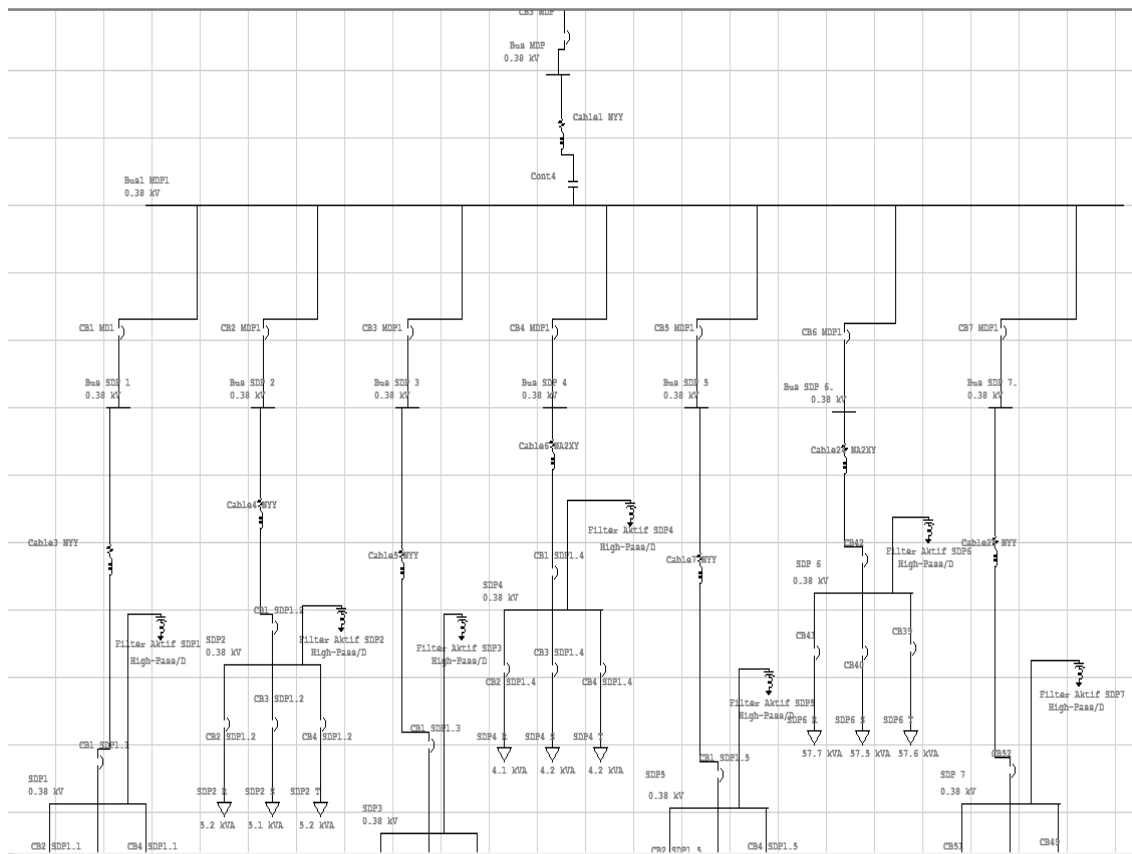
- f. Desain dan pemasangan filter aktif pada simulasi untuk meredam distorsi harmonisa.
- g. Membandingkan hasil simulasi THD_I dan THD_V setelah menggunakan filter aktif dengan standar IEEE 519 – 2014.
- h. Menurunkan kapasitas filter harmonisa untuk mendapatkan nilai filter yang efisien.
- i. Analisa THD_I dan THD_V setelah pemasangan filter harmonisa serta menganalisa rugi-rugi daya.
- j. Menarik kesimpulan.

Pembahasan serta hasil meliputi simulasi sistem kelistrikan di Hotel The Bene Kuta, perhitungan spesifikasi filter aktif, serta menghitung rugi-rugi daya.

4.1. Simulasi Kelistrikan Hotel The Bene Kuta

Gambar 3 merupakan simulasi pemasangan filter aktif *high pass* pada sistem kelistrikan di Hotel The Bene Kuta pada *software* ETAP 7.0. Pemasangan filter dilakukan pada setiap SDP guna mendapatkan hasil THD yang maksimal serta memenuhi standard.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Simulasi Pemasangan Filter Harmonisa

Tabel 3. Total Daya Beban Non Linier

| Tempat | | Total Daya KW |
|--------|-------|---------------|
| MDP | SDP 1 | 338.574 |
| | SDP 2 | 13.196 |
| | SDP 3 | 8.404 |
| | SDP 4 | 10.640 |

| | | |
|-------|-------|---------|
| | SDP 5 | 26.410 |
| | SDP 6 | 146.880 |
| | SDP 7 | 10.600 |
| Total | | 554.704 |

Total keseluruhan daya aktif pada sistem kelistrikan di hotel The Bene Kuta dari SDP 1 sampai SDP 7 adalah 554.704 KW.

4.2 Spesifikasi Filter dan Hasil Analisa

4.2.1 Daya Reaktif

Daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dapat dihitung seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 338.574 \text{ kW} \\
 \theta_1 &= \text{Arc cos } 0,84 \\
 &= 32,85^\circ \\
 \theta_2 &= \text{Arc cos } 0,98 \\
 &= 11,47^\circ \\
 \theta_C &= P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= 338.574 \text{ kW} (\tan 32,85^\circ - \tan 11,47^\circ) \\
 &= 1499,8 \text{ kVar}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kapasitor

Perhitungan Kapasitor seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 Q_C &= \frac{V^2}{X_C} \\
 X_C &= \frac{V^2}{kVar} \\
 &= \frac{0,38 \text{ kV}^2}{1499,8 \text{ kVar}} = 0,096\Omega \\
 &= \frac{1}{2\pi f X_C}, f = \text{frekuensi fundamental } 50 \text{ Hz} \\
 C &= \frac{1}{2\pi f X_C} \\
 &= \frac{1}{(2)(3,14)(50\text{Hz})(0,096\Omega)} = 2,764 \times 10^{-2} \text{ F}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Induktor

Dalam simulasi ini orde yang akan di filter adalah orde ke-5, sehingga pengaturan diturunkan sedikit dibawahnya yaitu 4,9. Ini dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah adanya resonansi yang bisa terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu, serta guna mendapatkan performa filter yang maksimal.

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{(C)(2\pi f n)^2} \\
 L &= \frac{1}{(2,764 \times 10^{-2})(2 \times 3,14 \times 50 \times 4,9)^2} \\
 &= 0,0000106 \text{ H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_L &= 2\pi f L \\
 X_L &= 2\pi f L \\
 &= (2)(3,14)(60)(0,0000106) \\
 &= 0,0039\Omega
 \end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan Resistor

Pada perancangan filter aktif *type high-pass* ini nilai Q yang digunakan adalah 20 karena distorsi harmonisa yang besar terdapat pada orde 20 ke bawah. Nilai faktor kualitas (Q) ini merupakan ukuran ketajaman pengaturan filter untuk mereduksi harmonisa.

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{R}{X_L} \\
 R &= Q \cdot X_L \\
 &= (20)(0,0039) \\
 &= 0,078 \Omega
 \end{aligned}$$

Spesifikasi nilai kapasitor, induktor dan resistor filter aktif dari masing-masing SDP dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

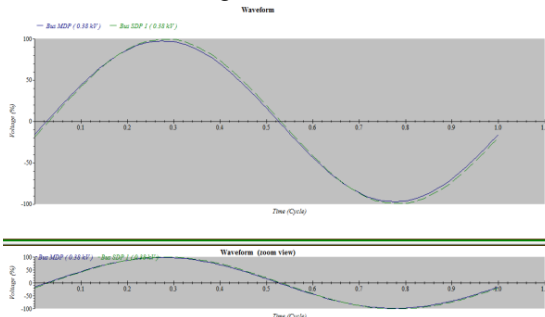
Tabel 4. Spesifikasi Filter Aktif

| Filter | Kapasitor (kVar) | Induktor (X _L) | Resistor (R) |
|--------|------------------|----------------------------|--------------|
| SDP 1 | 1.499,8 | 0,0039 | 0,078 |
| SDP 2 | 58,45 | 2,47 | 2 |
| SDP 3 | 37,22 | 3,87 | 3,2 |
| SDP 4 | 47,13 | 0,127 | 2,54 |
| SDP 5 | 117 | 1,23 | 1 |
| SDP 6 | 651 | 0,0092 | 0,18 |
| SDP 7 | 46,95 | 3,07 | 2,5 |

Hasil spektrum gelombang tegangan dari MDP dan SDP1 setelah pemasangan filter aktif sebagai berikut. Adanya pemasangan filter aktif dapat mengatasi distorsi harmonisa.



Gambar 5. Running Spektrum Setelah Pemasangan Filter Aktif



Gambar 6. Running Gelombang Setelah Pemasangan Filter Aktif

Perbandingan hasil *running* spektrum dan gelombang tegangan dari MDP dan SDP1 setelah pemasangan filter aktif. Dengan adanya pemasangan filter aktif harmonisa dapat mengatasi cacat gelombang akibat distorsi harmonisa dan gelombang akan terlihat lebih sempurna.

Berdasarkan hasil perhitungan *short-circuit ratio* sesuai dengan standar IEEE 519-2014, berikut perbandingan hasil pengoperasian simulasi setelah pemasangan filter aktif.

Tabel 5. Kandungan THD_i Setelah Pemasangan Filter Aktif

| Tempat | Hasil Running Kandungan THD_i | | | Keterangan | |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|------------|------------------|
| | Sebelum pemasangan filter | Sesudah pemasangan filter aktif | IEEE 519-2014 | | |
| MDP | SDP 1 | 16,04% | 0,81% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 2 | 8,84% | 1,97% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 3 | 8,76% | 1,92% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 4 | 7,30% | 0,86% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 5 | 9,82% | 2,30% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 6 | 10,57% | 1,05% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 7 | 7,06% | 1,68% | 5% | Memenuhi |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---------|
| | | | | | Standar |
|--|--|--|--|--|---------|

Pemasangan filter aktif akan dapat mereduksi distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan dengan nilai THD_i pada SDP1 sebesar 0,68%, SDP2 sebesar 1,94%, SDP3 sebesar 1,89%, SDP4 sebesar 0,86%, SDP5 sebesar 2,29%, SDP6 sebesar 0,81%, dan SDP7 sebesar 1,67%. Nilai tersebut telah memenuhi standar IEEE 519-2014. Kandungan THD_i pada sistem kelistrikan akan sangat berpengaruh terhadap kualitas daya listrik yang tentunya berpengaruh juga dengan rugi-rugi daya yang ditimbulkan. Dengan adanya penurunan THD_i , rugi-rugi daya listrik secara langsung akan mengalami penurunan. Dari pihak Hotel juga akan mendapatkan keringanan pembayaran beban listrik dikarenakan rugi-rugi daya yang ditimbulkan dari proses pengoperasian alat-alat dapat diminimalisir.

Tabel 6. Kandungan THD_v Setelah Pemasangan Filter Aktif

| Tempat | Hasil Running Kandungan THD_v | | | Keterangan | |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|------------|------------------|
| | Sebelum pemasangan filter | Sesudah pemasangan filter aktif | IEEE 519-2014 | | |
| MDP | SDP 1 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 2 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 3 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 4 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 5 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 6 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |
| | SDP 7 | 1,92% | 0,31% | 5% | Memenuhi Standar |

Nilai THD_v sistem kelistrikan hotel The Bene Kuta masih memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu dibawah 5% dengan nilai hasil running simulasi untuk THD_v pada semua SDP sebelum pemasangan filter

aktif yaitu 2,15% dan sesudah pemasangan filter aktif yaitu 0,34%. Dengan adanya penurunan THD_i , maka THD_v akan ikut turun dan hasilnya akan lebih kecil yang menandakan semakin baiknya kualitas tegangan setelah pemasangan filter aktif.

Dari spesifikasi filter hasil perhitungan menurut rumus didapat nilai THD yang sangat baik namun dengan adanya pemasangan filter disetiap SDP tentu nantinya akan tidak efisien. Dengan demikian untuk pertimbangan efisiensi akan digunakan spesifikasi filter yang lebih kecil. Spesifikasi filter ini akan menghasilkan THD yang mendekati standar 5% THD agar filter nantinya lebih efisien.

Nilai kapasitor filter hasil perhitungan menggunakan rumus pada SDP1 adalah

Tabel 7. Penurunan Spesifikasi Filter dan Perbandingan THD Guna Mendapatkan Filter yang Lebih Efisien

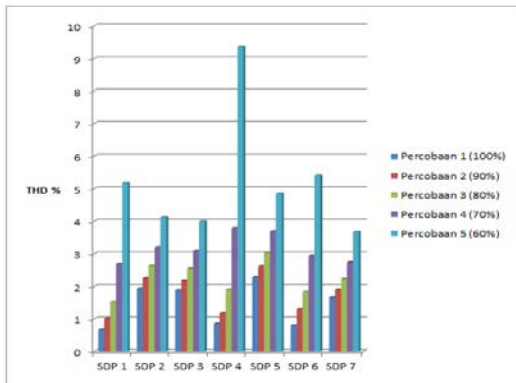
| Tempat | Nilai Kapasitor Spesifikasi Max(kVar) | Asumsi Pengurangan Nilai Kapasitor | Nilai Kapasitor (kVar) | THD (%) | Keterangan |
|--------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------|------------------------|
| SDP 1 | 1.499,8 | 100 % | 1.499,8 | 0,68 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 1.349,82 | 1,02 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 1.199,84 | 1,54 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 1.049,86 | 2,70 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 899,88 | 5,19 | Tidak Memenuhi Standar |
| SDP 2 | 58,45 | 100 % | 58,45 | 1,94 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 52,605 | 2,26 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 46,76 | 2,64 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 40,915 | 3,20 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 35,07 | 4,12 | Memenuhi Standar |
| SDP 3 | 37,22 | 100 % | 37,22 | 1,89 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 33,498 | 2,19 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 29,776 | 2,56 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 26,054 | 3,10 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 22,332 | 3,99 | Memenuhi Standar |
| SDP 4 | 47,13 | 100 % | 47,13 | 0,86 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 42,417 | 1,18 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 37,704 | 1,91 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 32,991 | 3,79 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 28,278 | 9,35 | Tidak Memenuhi Standar |
| SDP 5 | 117 | 100 % | 117 | 2,29 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 105,3 | 2,62 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 93,6 | 3,04 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 81,9 | 3,70 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 70,2 | 4,85 | Memenuhi Standar |

$1.499,8 \text{ kVar} = 100\%$ (dianggap kemampuan maksimum filter dalam mereduksi harmonisa), akan dilakukan penurunan spesifikasi kapasitor filter dengan asumsi 90%, 80%, 70%, 60% dari nilai maksimum kemampuan filter agar filter dapat lebih efisien.

Asumsi pertama akan menggunakan 90% dari kemampuan maksimum filter dapat dihitung sebagai berikut.

$$C = \frac{90}{100} \times 1499,8 \text{ kVar} = 1349,82 \text{ kVar}$$

| | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|------|------------------------|
| SDP 6 | 651 | 100 % | 651 | 0,81 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 585,9 | 1,31 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 520,8 | 1,83 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 455,7 | 2,94 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 390,6 | 5,41 | Tidak Memenuhi Standar |
| SDP 7 | 46,95 | 100 % | 46,95 | 1,67 | Memenuhi Standar |
| | | 90 % | 42,255 | 1,91 | Memenuhi Standar |
| | | 80 % | 37,56 | 2,24 | Memenuhi Standar |
| | | 70 % | 32,865 | 2,75 | Memenuhi Standar |
| | | 60 % | 28,17 | 3,68 | Memenuhi Standar |



Gambar 7. Diagram Batang Hasil Percobaan Asumsi Nilai Kapasitor Terhadap THD

Hasil perhitungan nilai filter menggunakan persamaan digunakan sebagai acuan nilai maksimum kinerja filter. Tabel diatas dimaksudkan spesifikasi nilai filter dapat diturunkan guna mendapatkan filter yang lebih efisien.

4.3 Analisis Rugi – Rugi

Perhitungan analisis rugi-rugi daya pada SDP1 sebagai berikut.

Diketahui :

$$\rho = 1,68 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$l = 12 m$$

$$d = 50 mm \rightarrow r = 25mm = 25 \times 10^{-3}m$$

Luas penampang (α) penghantar tersebut menggunakan rumus luas lingkaran, yaitu:

$$L = \pi r^2$$

$$L = \left(\frac{22}{7}\right) \times (25 \times 10^{-3}m)^2$$

$$L = 19,6 \times 10^{-4} m^2$$

Besarnya hambatan dari penghantar pada SDP1 adalah sebagai berikut:

$$R = \rho \times \frac{l}{\alpha}$$

$$R = 1,68 \times 10^{-8} \Omega . m \times \frac{12 m}{19,6 \times 10^{-4}m^2}$$

$$R = 0,0001 \Omega$$

Diketahui nilai arus fundamental sistem untuk SDP1 pada simulasi adalah 1.806,7A dan THD 16,04% maka :

$$I_h = I_{fun} \times THD$$

$$I_h = 1806,7 \times 16,04 \%$$

$$= 289 A$$

Dengan diketahui besar arus harmonisa, maka rugi – rugi pada SDP 1 sebelum pemasangan filter harmonisa sebagai berikut :

$$P_L = 3 \times I^2 R_{line}$$

$$P_L = (3 \times (289)^2) \times 0,0001$$

$$= 25,06 watt$$

Berdasarkan perhitungan tersebut maka dengan menggunakan persamaan yang sama hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rugi-Rugi Daya Sebelum Pemasangan Filter Aktif

| Tempat | R _{line} (Ω) | I _h (A) | Rugi-Rugi (watt) | |
|--------|-----------------------|--------------------|------------------|-----------|
| MDP | SDP 1 | 0,0001 | 289 | 25,06 |
| | SDP 2 | 0,0002 | 8,35 | 0,04 |
| | SDP 3 | 0,003 | 5,33 | 0,25 |
| | SDP 4 | 9,7 | 4,23 | 525,6 |
| | SDP 5 | 0,001 | 18,38 | 1,01 |
| | SDP 6 | 7,4 | 82,9 | 152.567,5 |
| | SDP 7 | 0,004 | 5,33 | 0,34 |

| | |
|--------------|------------------|
| Total | 153.119,8 |
|--------------|------------------|

Tabel 9 merupakan perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif *high pass*. Rugi-rugi daya menurun akibat pemasangan filter aktif. Penurunan rugi-rugi daya secara signifikan terjadi pada SDP 6 karena banyaknya pengoperasian beban non linier yang mengakibatkan rugi-rugi daya tinggi.

Tabel 9. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif

| Tempat | Rugi-Rugi Sebelum Pemasangan Filter (watt) | Rugi-Rugi Sesudah Pemasangan Filter (watt) |
|--------------|--|--|
| MDP | SDP 1 | 25,06 |
| | SDP 2 | 0,04 |
| | SDP 3 | 0,25 |
| | SDP 4 | 525,6 |
| | SDP 5 | 1,01 |
| | SDP 6 | 152.567,5 |
| | SDP 7 | 0,34 |
| Total | 153.119,8 | 1.511,2 |

Pemasangan filter aktif *high pass* pada simulasi memberikan penurunan nilai rugi-rugi daya di dalam system kelistrikan. Pada Tabel 9 total rugi-rugi sebelum pemasangan 153.119,8 W dan setelah pemasangan filter menjadi 1.511,2 W.

Tabel 10. Perbandingan Total Rugi-Rugi Daya dengan Spesifikasi Filter yang Diturunkan

| Tempat | Spesifikasi Filter | Total Rugi-Rugi Daya (watt) |
|--------|--------------------|-----------------------------|
| MDP | 100% | 1.511,2 |
| | 90% | 2.369,7 |
| | 80% | 4.575,1 |
| | 70% | 11.885,5 |
| | 60% | 40.761,9 |

Dengan adanya penurunan filter rugi-rugi daya akan meningkat tetapi penurunan nilai filter ini masih memenuhi standar THD yang ditentukan. Penurunan nilai filter ini akan mengakibatkan harga pembuatan filter akan lebih murah.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, maka didapatkan simpulan penyelesaian dari permasalahan yaitu :

Sistem kelistrikan pada Hotel The Bene Kuta disuplai oleh PLN dengan kapasitas daya 630 KVA. Total beban yang terpasang hasil pengukuran pada MDP adalah sebesar 190.672,5 watt.

Kandungan THD_i di Hotel The Bene Kuta hasil simulasi menggunakan *software* ETAP sebelum pemasangan filter aktif pada SDP memiliki rata-rata sebesar 9,7% yang masih diatas standar IEEE 519-1992 yang telah ditentukan yaitu sebesar $\leq 5\%$. Setelah pemasangan filter aktif *high pass* pada masing-masing SDP nilai rata-rata THD_i 1,5% dan nilai THD_v 0,31%. Total rugi-rugi daya sebelum pemasangan filter aktif adalah 153.119,8 Watt dan sesudah pemasangan menjadi 1.511,2 Watt. Penurunan nilai filter dipakai 70% dari kinerja maksimum filter guna mendapatkan filter yang lebih efisien, tetapi masih memenuhi standar THD yang ditentukan dan total rugi-rugi daya diperoleh 11.885,5 W. Adanya pemasangan filter aktif menyebabkan rugi-rugi daya menurun.

6. Daftar Pustaka

- [1] H. W. B. Surya Santoso and M. F. M. Roger C. Dugan, *Electrical Power System Quality*. 2003.
- [2] Alam Tuara and Laboratorium PBL STT-PLN, "Harmonisa Arus," 08-Mar-2015. .
- [3] "519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE*, Jun. 2014.
- [4] "Filter Aktif High Pass (HPF)," 19-Jun-2012. .
- [5] Angga, "Simulasi dan Solusi untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik di Hotel Best Western Premiere," *Tek. Elektro Univ. Udayana*, 2014.